

**TESIS**

**POTENCIALIDAD DE CONTENIDO DE CADMIO EN LOS GRANOS DEL  
ARROZ CULTIVADO EN COLOMBIA**

Presentado por:  
SANDRA MÉNDEZ FAJARDO

Asesor:  
SERGIO FERNANDO BARRERA TAPIAS



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
DICIEMBRE, 2006**

---

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>HIPÓTESIS Y TAREAS ESPECÍFICAS</b>	<b>2</b>
<b>1. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Metabolismo en las plantas</b>	<b>3</b>
<b>1.2. El arroz</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1. Absorción de metales pesados en las leguminosas</b>	<b>8</b>
<b>1.3. METALES PESADOS</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1. El Cadmio en el medio ambiente</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Toxicidad y Farmacocinética</b>	<b>13</b>
<b>1.5. Nutrición en seres humanos</b>	<b>13</b>
<b>1.5.1. Relación cadmio – micronutrientes</b>	<b>14</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Análisis de información secundaria</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Georreferenciación</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Toma de muestras y análisis de laboratorio</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Análisis de resultados</b>	<b>17</b>
<b>2.5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>17</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Arroz en Colombia</b>	<b>18</b>
<b>3.1.1. Consumo de arroz en Colombia</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Toxicidad y Farmacocinética del cadmio</b>	<b>25</b>
<b>3.3. Cadmio en Colombia</b>	<b>28</b>
<b>3.5. Resultados de laboratorio y análisis</b>	<b>34</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>5. RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES</b>	<b>40</b>

---

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.1.** Elementos químicos esenciales para las plantas
- Tabla 1.2.** Concentraciones de Cd en alimentos
- Tabla 3.1.** Principales tipos de arroz consumido en Colombia
- Tabla 3.2.** Consumo aparente de arroz en Colombia
- Tabla 3.3.** Producción de arroz por departamentos de Colombia
- Tabla 3.4.** Producción anual de arroz, Departamento del Tolima.
- Tabla 3.5.** Producción anual de arroz, Departamento del Huila.
- Tabla 3.6.** Producción anual de arroz, Departamento del Meta
- Tabla 3.7.** Producción anual de arroz, Departamento del Casanare
- Tabla 3.8.** Concentraciones máximas y dosis tóxicas
- Tabla 3.9.** Capas incluidas en el Mapa SIG, en relación con el metal traza.
- Tabla 3.10.** Variedades de arroz muestreadas
- Tabla 3.11.** Resultados de laboratorio
- Tabla 3.12.** Pesticidas controlados por el CODEX Alimentarius

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Distribución de productos industriales
- Figura 1.2.** Cinética general
- Figura 3.1.** Consumo *per cápita* de arroz blanco en Colombia (kg/hab)
- Figura 3.2.** Estructura de la Cadena Agroindustrial del Arroz en Colombia
- Figura 3.3.** Cuatro principales zonas arroceras de Colombia
- Figura 3.4.** Farmacocinética del cadmio
- Figura 3.5.** Prospectos de Cd en la zona de estudio
- Figura 3.6.** Explotación minera en la zona de estudio
- Figura 3.7.** Ubicación de puntos de muestreo en sedimentos de fondo del río Saldaña
- Figura 3.8.** Índice de movilidad para el Cd (Rojo: alto, amarillo: medio, verde:bajo)
- Figura 3.9.** Resumen de la ubicación de la información recopilada
- Figura 3.10.** Geología de la zona de estudio
- Figura 3.11.** Presentación de las muestras
- Figura 3.12.** Peso corporal estándar para niños de acuerdo con la edad

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de problemas ambientales, deben enfocarse principalmente hacia los que afectan, directa o indirectamente, la salud de los seres humanos; esta priorización se hace necesaria en un País como Colombia, debido a las limitaciones relacionadas con los recursos económicos disponibles para la ejecución de proyectos de inversión ambiental.

Por causas como malas prácticas en la agricultura, las cuales implican la utilización desmedida de químicos fertilizantes de suelos y pesticidas; y el manejo inadecuado de vertimientos industriales mineros, galvánicos, metalúrgicos, tintoreros, entre otros; se puede ver potenciada la producción de alimentos con contenidos altos de contaminantes como los metales pesados.

Diferentes casos de intoxicación y de presencia de extrañas enfermedades en poblaciones completas, a nivel mundial, han generado estudios e investigaciones que demuestran la peligrosidad de los metales pesados en la salud humana. Sin embargo, en Colombia, son pocas las investigaciones que se concentran en detectar el posible riesgo al que se enfrentan los consumidores de arroz.

Este hecho, sumado a que este es el alimento que se consume en mayor cantidad, en poblaciones de todas las edades y estratos socioeconómicos, genera una necesidad de implementar líneas de investigación en esta área, en las entidades relacionadas con el tema y que pueden desarrollar este tipo de proyectos.

La investigación busca confirmar el potencial contenido de cadmio en el arroz sembrado en Colombia, basado en información secundaria de detección del metal en suelos y sedimentos de ríos en las zonas en donde se cultiva y unos análisis de laboratorio en muestras tomadas en una zona seleccionada.

## **HIPÓTESIS Y TAREAS ESPECÍFICAS**

Una de las principales problemáticas de Colombia, es la disponibilidad y calidad de la información, en las diferentes temáticas de interés tanto público, como académico y científico. En el caso de la geotecnia ambiental, existen algunos estudios de contenido de contaminantes en suelos de diferentes zonas del País, realizados principalmente por entidades públicas que tienen la responsabilidad de regular y hacer seguimiento al tema. Con respecto a esto, el inconveniente se relaciona con la disponibilidad de los datos, pues cada autor la concentra, impidiendo en algunos casos, la estructuración de documentos que se condensen a nivel nacional.

En Colombia no se encuentran documentados casos de afecciones en la salud de poblaciones enteras, pero no se tiene la seguridad de que no se estén presentando impactos negativos a largo plazo; se cuenta con algunos estudios de la incidencia de los metales pesados en la salud, aunque no específicamente del Cd en arroz, el cual comprende un importante porcentaje dentro de los productos de la canasta básica familiar, consumiendo desde edades tempranas, en forma frecuente e independiente del estrato socioeconómico.

Las razones expuestas anteriormente, hacen importante la implementación de proyectos de investigación que permitan estudiar los compuestos de los alimentos y sus posibles riesgos para la salud. Por esta razón se propone, mediante un estudio investigativo, responder al siguiente interrogante:

¿Cuál es el contenido de cadmio en los granos de arroz sembrado en la zona que, según estudios existentes, presenta el mayor contenido de este metal pesado en los suelos?

## **1. MARCO CONCEPTUAL**

### **1.1. Metabolismo en las plantas**

De acuerdo con los estudios acumulados a través de la historia, relacionados con el organismo vegetal, podría asegurarse que entre un 94 y un 99.5% de ellos se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno; la mayor parte del carbono y del oxígeno lo obtienen en forma directa del aire por fotosíntesis, mientras que el hidrógeno está disponible, directa o indirectamente, en el agua del suelo. En el caso específico de las plantas, adicional a los elementos mencionados, es necesaria la interacción de algunos elementos químicos que se encuentran principalmente en la fracción mineral del suelo y que son proporcionados a través de un sistema radicular. Aunque estas especies químicas constituyen una mínima porción del peso anhidrido de la planta – del 0.6% al 6% -, no son menos importantes que los primeros, considerándose también elementos esenciales para la nutrición vegetal.

Los criterios para determinar si una sustancia es esencial para la nutrición de las plantas son principalmente dos: Que su ausencia haga imposible completar las etapas vegetativas o reproductivas del ciclo vital de la planta; en segundo lugar, debe estar implicado directamente en la nutrición de la planta, en forma independiente a sus posibles efectos en la corrección de condiciones desfavorables, químicas o microbiológicas, del medio externo.

Tanto los macro como los micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas se pueden observar en la Tabla 1.1; todos ellos desempeñan funciones muy importantes en la vida de la misma y cuando están presentes en forma insuficiente, pueden causar graves alteraciones y reducir notablemente su desarrollo.

**Tabla 1.1.** Elementos químicos esenciales para las plantas

NUTRIENTE ESENCIALES PARA LAS PLANTAS			
PARA TODAS			PARA ALGUNAS
En cantidades relativamente grandes		En cantidades relativamente pequeñas	En cantidades relativamente pequeñas
Extraídos por lo general del aire, en forma de CO <sub>2</sub> , o del agua del suelo		De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo
Carbono	Nitrógeno	Hierro	Sodio
Hidrógeno	Fósforo	Manganeso	Silicio
Oxígeno	Potasio	Boro	Cobalto
	Calcio	Molibdeno	Vanadio
	Magnesio	Cobre	
	Azufre	Cinc	
		Cloro	

Fuente: GINES, Navarro. *Química Agrícola*. 141

De acuerdo con diferentes referencias bibliográficas, dentro de los micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas se encuentran los metales pesados y elementos químicos – Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Co, V -, a excepción, entre otros, del cadmio; este se encuentra incluido entre los compuestos tóxicos que afectan el desarrollo de las plantas, juntos con otros metales como el plomo, el níquel, el aluminio y el estroncio. Cuando estos compuestos tóxicos se encuentran en el suelo, aprovechan la similitud en su valencia y reacciones, y compiten con los elementos esenciales. [BENNET, William. *Nutriente deficiencias & Toxicities in crop plants*. 5].

El comportamiento de un elemento o ión particular, en un medio de dispersión dado, como el suelo o el conjunto suelo-agua, está controlado principalmente entre los diferentes productos de oxidación y sus relaciones de estabilidad, las cuales se expresan mejor como funciones de Eh y pH; la solubilidad de los iones metálicos dependerá del nivel de pH del medio, siendo, la mayoría de ellos, solubles en ambientes ácidos [MONSALVE, Darío. *Análisis colorimétrico para metales pesados*].



La absorción de elementos por las plantas es un proceso complejo. Éstas, a través de sus raíces, proveen los nutrientes que vienen del suelo y que se encuentran en forma disponible o asimilable. Los procesos que permiten la absorción de sales minerales del suelo, son: acumulación simple de iones y sales, intercambio iónico, combinación química y difusión [GAVIRIA, Sergio. *Proyecto LANDSAT Mocoa*].

El primero de ellos es altamente selectivo, de modo que algunos elementos en forma de aniones, cationes o moléculas, son acumulados con efectividad, así como otros pueden ser excluidos del proceso. Por otro lado, mediante la acumulación iónica, los iones entran a la planta y se concentran en cantidades mayores a la concentración del mismo en el medio circundante; este proceso se lleva a cabo en las células jóvenes de crecimiento, en forma especial cerca de las raíces, y como consume energía, se presenta sólo mientras exista la disponibilidad de oxígeno y temperatura, conduciendo a la planta a una respiración aeróbica, por lo cual la acumulación iónica será dependiente de la velocidad de la fotosíntesis en la planta. [GAVIRIA, Sergio. *Proyecto LANDSAT Mocoa*].

Los mecanismos de intercambio iónico permiten el paso de iones entre la superficie del suelo y las raíces de las plantas, cuyos ácidos orgánicos liberan iones  $H^+$ , los cuales pueden ser intercambiados por otros cationes del fluido del suelo o por los iones absorbidos por materiales sólidos del mismo. Por último, la difusión simple juega un papel importante en el suelo y ayuda a la translocación de iones, una vez han entrado a la planta [GAVIRIA, Sergio. *Proyecto LANDSAT Mocoa*].

En general, los materiales absorbidos viajan a las partes más jóvenes de la planta, por lo cual allí se encuentran las mayores concentraciones de metal. Por el contrario, la profundidad de las raíces es un factor menos importante para observar las concentraciones de metales en las plantas o en el suelo.

En la matriz del suelo pueden estar los metales solubles o absorbidos a sus componentes sólidos, como cationes o aniones sobre partículas coloidales, principalmente minerales arcillosos o materia orgánica, los cuales son los materiales intercambiables por excelencia. Las fuerzas que unen a los metales con estos elementos son diferenciales, por lo tanto serán asimilados diferencialmente por las plantas. Por otro lado, el número de iones retenido varía con su concentración fuera del material intercambiable, es decir, entre mayor sea el porcentaje de saturación de un catión dado, más fácilmente puede ser desplazado y absorbido por la planta; sin embargo este efecto de saturación reviste menor importancia cuando en el suelo se encuentran varias especies disponibles compitiendo.

Es importante tener en cuenta que algunos compuestos, aunque se encuentren insolubles en la matriz, pueden convertirse en solubles mediante el proceso de quelación, siendo transportados por diferentes complejos hacia las reacciones de intercambio.

## **1.2. El arroz**

Se presume que el origen del arroz se dio en Asia tropical y subtropical, siendo India el país en donde posiblemente se cultivó por primera vez. Sin embargo, fue en China donde tuvo su verdadero desarrollo.

Esta Planta es conocida en la botánica como *Oryza Sativa L.*, y es una gramínea anual de tallos redondos y huecos, compuestos por nudos y entrenudos, hojas simples de lámina plana y su inflorescencia es en panícula. Sus órganos vegetativos son las raíces, tallo y hojas, y los reproductivos, las flores y las semillas.

Durante su crecimiento, presenta dos tipos de raíces, las seminales o temporales, y las adventicias o permanentes. Estas últimas, cuando están maduras, son fibrosas con raíces secundarias y pelos radicales. El desarrollo del sistema radical está determinado por el

sistema de cultivo y por el tipo de suelo; la mayoría de las plantas de arroz se encuentran flotantes con las raíces sumergidas en agua, en la cual la superficie de la raíz se oxida.

Recientemente se han obtenido plantas transgénicas de arroz capaces de producir provitamina A en el endospermo, lo que podría aliviar las carencias en vitamina A en la dieta de muchos seres humanos [Ye et al., 2000, *Science* 287: 303-305]. El *sake* es una bebida alcohólica del Japón obtenida a partir del arroz. [Árabe, eruz, arroz].

### Requerimientos edafoclimáticos

Para germinar, el arroz necesita una temperatura mínima de 10 a 13°C y óptima de 30 a 35°C, atrofiándose la germinación por encima de los 40°C. Por otro lado, la temperatura mínima para florecer es de 15°C, la óptima 30°C y sobre los 50°C no se produce floración.

Aunque la planta de arroz puede crecer sobre una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa hasta arcillosa, se suele sembrar sobre suelos de textura fina a media, propias de procesos de sedimentación en llanuras inundadas y en deltas de ríos. Los suelos arcillosos son más complejos de manejar, pero brindan más fertilidad para el sembrado pues tienen más contenido de arcilla, de materia orgánica y de nutrientes. Así mismo, la mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad, pocas semanas después de la inundación; el pH de los suelos ácidos aumenta con la saturación, mientras que con los alcalinos sucede lo contrario. En este sentido, el pH óptimo para el cultivo de arroz es de 6.6, valor con el cual la liberación microbiana de N y P de la materia orgánica, y la disponibilidad de P, son altas, además de no ofrecer el medio ácido para la fácil disponibilidad de tóxicos presentes en el suelo.

### Absorción de nutrientes

La planta de arroz absorbe el nitrógeno en solución de forma inorgánica, mientras que este elemento en el suelo se encuentra en formas orgánicas, formando parte de la materia

orgánica o parte de los restos de la cosecha. Para llevar el N a forma inorgánica, se debe dar el proceso de mineralización de la materia orgánica la cual dependerá del tipo de suelo; en uno anaeróbico, la falta de oxígeno hace que este proceso se detenga en forma amónica, la cual es fácilmente disponible para el arroz. El N es el nutriente que actúa en forma más directa sobre la producción, puesto que aumenta el porcentaje de espigas rellenas, incrementa la superficie foliar y contribuye en la calidad del grano. La planta de arroz necesita este nutriente en dos momentos principales: entre 35 y 45 días después de la siembra en la fase de ahijamiento medio, cuando la planta desarrolla la vegetación necesaria para producir el grano. El segundo instante está entre el inicio del alargamiento del entrenudo superior hasta que éste alcanza 1.5 o 2cm.

Por otro lado, el fósforo también influye sobre la productividad de los cultivos, aunque en forma menos importante que el nitrógeno. Este nutriente debe estar disponible para la planta, principalmente, en su fase inicial de crecimiento, por lo cual se debe aplicar como abono de fondo, o de la etapa de inundación y sembrío.

Por último, el potasio aumenta la resistencia al encamado o caída del tallo, a las enfermedades y a las condiciones climáticas desfavorables. La absorción de este nutriente es de forma similar a la del nitrógeno.

### **1.2.1. Absorción de metales pesados en las leguminosas**

Cuando los metales pesados se encuentran en los suelos sobre los cuales se cultivan plantas, éstos pueden competir con alguno de los nutrientes que la planta necesita absorber para su desarrollo, como lo son, principalmente, el nitrógeno y el fósforo.

La presencia de pH bajo en el suelo, facilita la transferencia del cadmio al vegetal, encontrando valores hasta de 20 veces superior que en zonas con suelos no contaminados y con pH más elevados<sup>1</sup>.

### **1.3.METALES PESADOS**

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1, los metales pesados se definen como los elementos químicos que tienen un peso atómico entre 63 y 200 y una gravedad específica mayor de 4,0; que por su naturaleza presentan una gran reactividad y que, dependiendo de la concentración, la forma química o su acumulación en el organismo, pueden ocasionar efectos indeseables en el metabolismo.

Los elementos que se clasifican como metal pesado son el Aluminio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio, zinc. Dentro de los elementos mencionados, se encuentran dos que no son exactamente metales pesados, pero se comportan con las mismas características que éstos: el arsénico, es un semimetal y el selenio no es un metal.

Cada uno de los metales pesados impacta de diferente forma al ambiente y principalmente, la salud de las personas, pero las principales problemáticas son: en primer lugar, la capacidad de acumularse en los tejidos grasos del cuerpo o en órganos, hasta alcanzar una dosis dañina o letal; también se puede presentar interferencia en los procesos químicos de las células y de las neuronas.

El Cadmio puede estar presente en el suelo por tres razones principales: La primera, porque forma parte natural de la roca y por meteorización o erosión, quede disponible en

---

<sup>1</sup> Environmental contamination and other Hazards. Public Health assesment. Asarco incorporated (Globe plant), Denver, Colorado

el suelo resultante. La segunda, por el vertimiento inadecuado de aguas residuales que lo contengan, especialmente las generadas por las industrias de barnices, tintas, productos metalúrgicos y galvánicos; y plásticos<sup>2</sup>. Otra actividad importante es la utilización de fertilizantes químicos que contengan cadmio, en los cultivos donde se siembran los productos agrícolas del País.

La problemática del cadmio, asociada a la salud, está relacionada principalmente con su acumulación en el riñón y en el hígado. Adicionalmente, se combina con la metalotioneína, proteína de bajo peso molecular, y se separa en el túbulo renal, provocando efectos tóxicos. En grandes dosis puede llegar a producir muerte celular y afectar la condensación de las mitocondrias en las células. Dentro de los efectos tóxicos, se encuentran enfermedades como: nefrotoxicidad, que interviene con la actividad detoxificante del riñón, hepatotoxicidad, generando efectos hepáticos, osteomalasia, que genera alteraciones en el metabolismo óseo del cuerpo, hipertensión, carcinogénesis, infertilidad y neurotoxicidad<sup>3</sup>.

### **1.3.1. El Cadmio en el medio ambiente**

El cadmio, Cd, es un metal cuyo color varía entre amarillo, amarillo naranja y rojo ladrillo [INGEOMINAS, Recursos Minerales de Colombia], no presenta ni olor ni sabor particular y es similar en su apariencia al zinc, Zn, cuyos usos son también similares; de hecho, el Cd es considerado en algunos países como una impureza del carbonato de zinc, por lo cual se encuentra fácilmente en forma asociada con este metal. El metal en estado nativo es desconocido.

La distribución promedio de Cd en la corteza terrestre es de 0.1 mg/kg y se encuentra principalmente como mineral de sulfuro. El cadmio es relativamente más sulfófilo que el

---

<sup>2</sup> estudio realizado por la Fundación MAFRE en 1994

<sup>3</sup> BRACK Antonio; MENDIOLA, Cecilia. Artículo: El Cadmio y la Salud. Perú.

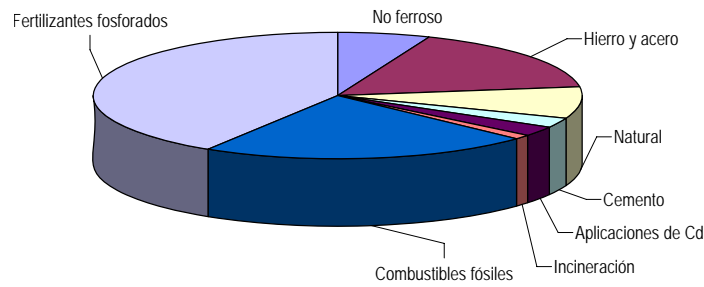
cinc, por lo cual se concentra más en los estados finales de diferenciación magmática, con sus menas hidrotermales asociadas [INGEOMINAS, Recursos Minerales de Colombia]. La mayoría de sus compuestos inorgánicos son solubles en agua, mientras que los óxidos y sulfuros presentan una baja solubilidad; sin embargo, los estudios que analizan la solubilidad de estos compuestos en medio biológicos, son escasos.

En la naturaleza, el Cd puede encontrarse asociado con los minerales de rocas y materiales fósiles. Su exposición al medio ambiente se genera principalmente por actividades antropogénicas como la minería, la combustión de combustibles fósiles como el carbón y actividades industriales. Adicionalmente, productos como el tabaco contiene importantes concentraciones de Cd. Aunque puede encontrarse en aleaciones con zinc, plomo y cobre, también puede aparecer en conjunto con oxígeno, flúor, cloro y sulfuro. Por otro lado, el Cd es utilizado en la industria de la fotografía y el fotograbado, en compuestos como bromuros o yoduros. El sulfuro de cadmio o *cadmio amarillo*, es utilizado como pigmento en pinturas, barnices y tintas; placas o electrodos de níquel-cadmio son utilizadas en baterías de celulares. El cadmio también es utilizado en protecciones contra la corrosión de hierro, cobre, latón y otras aleaciones.

Las emisiones de cadmio a la atmósfera, aunque son muy bajas, se pueden generar en los procesos de incineración de residuos domésticos, además de las actividades ya mencionadas como la minería y el uso de carbón; adicionalmente, el consumo de cigarrillos contribuye a la presencia de este metal en el aire: un cigarrillo puede contener 2µg Cd. Estando en el aire, puede ser transportado grandes distancias, de modo que el suelo y el agua pueden ser contaminados lejos del lugar de emisión.

En la figura 1.1 se observa la distribución de diferentes productos industriales, entre los cuales se encuentran algunos relacionados directamente con el cadmio.

**Figura 1.1.** Distribución de productos industriales



Fuente: [www.cadmium.org](http://www.cadmium.org)

Es importante resaltar la problemática de los fertilizantes fosforados y su relación con el Cd. De acuerdo con un estudio realizado en Chile, estos agroquímicos contienen Cd y en los suelos donde son utilizados y se proyectan acumulaciones importantes por su uso continuo [VILLANUEVA, L. 2004].

Aunque el cadmio puede estar presente de forma natural en alimentos como la papa y algunos cereales, altas concentraciones por ingestión de éstos o de agua con Cd, pueden evidenciarse inicialmente, en aparición de vómito y diarrea. Algunos alimentos como crustáceos, hígado, riñón, algunos champiñones y cacao; contienen más de 100 µg Cd/kg. En este sentido, granos como las habas, las lentejas y otras semillas, pueden tener concentraciones mayores. Por otro lado, la carne y el pescado pueden presentar bajas concentraciones cercanas a los 5 µg Cd/kg [L. Jorhem. Food composition analysis]. En la tabla No.1.2. se presentan algunos valores de concentración de Cd en diferentes alimentos.

**Tabla No.1.2.** Concentraciones de Cd en alimentos

Alimento	Cd (mg/kg, b.h.)	Alimentos	Cd (mg/kg, b.h.)
Papa	0.01 – 0.06	Riñón (vaca)	0.2 – 1.3
Granos de trigo	0.005 – 0.08	Carne (vaca)	0.005 – 0.02
Arroz sembrado (áreas no contaminadas)	0.008 – 0.13	Carne de pescado cangrejo	0.004 – 0.15
Leche	0.00017 – 0.002	Espinaca	0.043 – 0.15
Ostras	0.1 – 4.7	Zanahorias	0.016 – 0.030

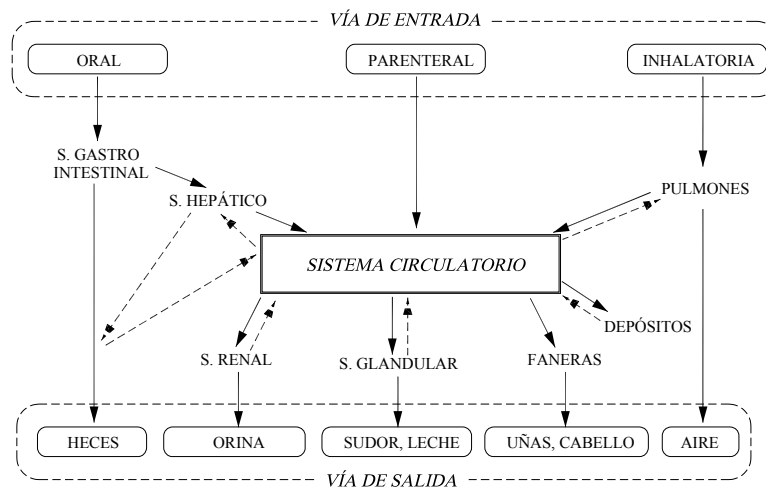
Fuente: *Heavy Metals in the environment. Sarkar, Bibudhendra.*



### 1.4. Toxicidad y Farmacocinética

Un tóxico o veneno, es cualquier elemento que ingerido, inhalado, aplicado, inyectado o absorbido, es capaz, por sus propiedades físicas o químicas, de provocar alteraciones orgánicas o funcionales en los seres vivos, o aún, la muerte. En la figura 1.2 se muestra la cinética general que un tóxico puede tener en el organismo.

**Figura No.1.2.** Cinética general



Fuente: Adaptado de diferentes bibliografía de metales pesados

Adicional a la vía de entrada, para determinar la cinética y grado de toxicidad de un compuesto en un organismo, es necesario tener en cuenta que las dosis pueden ingresar en tres formas diferentes: *aguda*, o administrada de una sola vez, o *crónica*, administrada en múltiples ocasiones a lo largo de un tiempo. Los tóxicos estudiados en este proyecto, de existir en los alimentos, serían ingeridos en forma crónica

### 1.5. Nutrición en seres humanos

Para una adecuada nutrición heterótrofa, es necesario el consumo de diferentes compuestos tanto minerales o sustancias inorgánicas, como sustancias orgánicas como

vitaminas, carbohidratos, proteínas y grasas. Los nutrientes se dividen básicamente en tres tipos: energéticos, plásticos y reparadores; y metabólicos. Los compuestos minerales, forman parte de los dos últimos y dentro de éstos se encuentran algunos metales pesados.

### **1.5.1. Relación cadmio – micronutrientes**

Los minerales se encuentran en todos los tejidos y líquidos del cuerpo humano, en forma de sales, actuando en forma conjunta con los compuestos orgánicos con el fin de construir tejidos y regular el metabolismo corporal. Una de las características importantes de los minerales, es que no se destruyen en la preparación de las comidas. Además de los minerales, dentro de los cuales se encuentran el calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, hierro, yodo, flúor, cobre y zinc; se deben incluir compuestos como cromo, cobalto, manganeso, molibdeno, selenio, azufre, cadmio, níquel, sílice, estaño y vanadio; los cuales deben cumplir con unas dosis máximas muy inferiores a las de los demás compuestos<sup>4</sup>.

De acuerdo con diferentes experimentos, se sabe que la interacción del cadmio con minerales nutrientes en la planta de arroz, tales como Fe, Zn, Mn, Cu y Mg, afecta de diferentes formas el desarrollo del vegetal. En primer lugar, la presencia de Cd impacta la concentración de hierro en las hojas y de magnesio y manganeso en las raíces nacientes. Por otro lado, la concentración de los nutrientes decrece en las hojas maduras, exceptuando el Cu. Finalmente, con respecto a la concentración de los minerales en las raíces maduras, el Fe y el Mn muestran incrementos, pero el Zn, Cu y Mg evidencian disminución. La interacción entre el metal traza y los nutrientes es evidente, excepto con el Fe en raíces y con el Mg en hojas nacientes. Finalmente, el efecto principal

---

<sup>4</sup> Enciclopedia ENCARTA. Los Minerales, por Ana María Hernández.

observado fue la inhibición en el crecimiento de las raíces de la planta [LIU Jianguo, LI Kunquan, 2003]<sup>5</sup>.

En el caso de los infantes de corta edad, la vulnerabilidad es mayor, si se compara con la de un adulto, debido a la susceptibilidad a los efectos tóxicos y de acumulación de metales traza, pues presentan una mayor velocidad de absorción gastrointestinal por la alta permeabilidad de su epitelio y una inmadurez importante en sus sistemas enzimáticos detoxificantes [SILBERGELD, E]. Por esta razón se tomó esta como población objetivo en la comparación realizada.

---

<sup>5</sup> Experimento realizado con 20 genotipos diferentes de arroz y tres orígenes orientales diferentes.

## **2. METODOLOGÍA**

Para cumplir los objetivos propuestos, se realizaron tres etapas: análisis de información secundaria, georreferenciación de la información y toma de muestras y análisis.

### **2.1. Análisis de información secundaria**

Comprendió la revisión de conceptos básicos relacionados con el arroz, la absorción de minerales y las afectaciones en la salud de los seres humanos causadas por los tóxicos, según registros de las entidades encargadas del tema a nivel mundial como la WHO – World Health Organization y la ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Adicionalmente se revisaron los informes técnicos que se relacionan con la búsqueda de metales pesados, metales básicos y metales preciosos en los suelos y sedimentos de fuentes de agua de Colombia, centrados principalmente en el INGEOMINAS – Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Para la realización satisfactoria del trabajo, se consiguió el apoyo de instituciones como Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC; el INGEOMINAS, FEDEARROZ, Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA, principalmente, quienes brindaron la información necesaria.

Adicionalmente, se revisaron proyectos de investigación realizados por grupos de investigación, tanto registrados como reconocidos en COLCIENCIAS, así como grupos de investigación de diferentes investigadores tanto nacionales como internacionales.

### **2.2. Georreferenciación**

Una vez analizada y seleccionada la información recopilada respecto a los cultivos de arroz en el país y hallazgos de cadmio o metales relacionales en la zona de interés, se

digitalizaron por medio del programa AutoCAD 2006 y se sintetizaron en ArcMAP 9.3. sobre el mapa de Colombia en coordenadas geográficas reales.

### **2.3. Toma de muestras y análisis de laboratorio**

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis del mapa generado, se determinó la zona en la cual se tomaron las muestras para completar el estudio, de acuerdo con los recursos disponibles para tal fin. Se seleccionaron 5 fincas en las cuales se tomó una muestra de arroz paddy verde para proceder luego a un descascarado manual, hasta completar 200 gr de cada una.

Luego, se realizó para cada muestra el ensayo de Absorción Atómica con llama en los laboratorios del CITEC de la Universidad de Los Andes, con un límite de detección de 0.008 ppm en base seca.

### **2.4. Análisis de resultados**

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio, se realizó una comparación simple directa de estas concentraciones con las máximas recomendadas por la normatividad relacionada y con las dosis tóxicas seleccionadas de estudios de toxicología del cadmio..

### **2.5. Conclusiones y recomendaciones**

Como resultado de la investigación, se elaborarán las conclusiones y recomendaciones que permitan tomar decisiones en cuanto a investigaciones adicionales posteriores y, principalmente, proponer los cambios necesarios en la normatividad relacionada.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1. Arroz en Colombia

Existen alrededor de 1400 variedades diferentes del grano, entre las cuales está el arroz integral, el vaporizado, el tostado, el fortificado, el parbolizado, entre otros. La tabla 3.1 describe brevemente algunas de las clases de arroz existentes en la actualidad, en Colombia.

**Tabla 3.1.** Principales tipos de arroz consumido en Colombia

Tipo	Descripción	Proceso
Común	Redondo, tonalidad blanquecina	Blanqueo, retiro de parte del pericarpio
Integral	Conserva el salvado de la cáscara	Sin blanqueo
Parbolizado	Gelatinización del almidón externo	Blanqueo y vaporizado

*Fuente: Adaptación fuentes varias*

Existe una variedad conocida como arroz transgénico, a partir del cual se genera Cry1Ac, que es una endotoxina llamada *crystal*, y el cual es rico en vitamina A o en hierro, de acuerdo al proceso. Este tipo de arroz podría absorber en forma más fácil los metales presentes en el suelo, sin embargo, en Colombia no se cultiva y el que se importa es mínimo, de acuerdo con información ofrecida por la oficina de Investigaciones Económicas de Fedearroz.

##### 3.1.1. Consumo de arroz en Colombia

Este factor se encuentra analizado de dos formas: consumo aparente y consumo *per cápita*. De acuerdo con información de la Empresa Florhuila S.A., el consumo aparente de arroz en el País, aumentó durante la última década a una tasa de 3.9%, pasando de 1,2 millones de toneladas, en 1992, a 1,53 millones de toneladas en el 2002, situación que se explica por el crecimiento en la producción, con un 4.1% anual en el

mismo período. De igual forma, las importaciones del grano crecieron un promedio anual de 0.8%, mientras que las exportaciones descendieron a una tasa anual de 25%.

**Tabla 3.2.** Consumo aparente de arroz en Colombia

Año	Producción (T)	Importaciones (T)	Exportaciones (T)	Variación Existencias (T)	Consumo Aparente (T)	Consumo Percápita (Kg/Hab)
1992	1,127,718	60,062	450	58,949	1,246,279	34.2
1993	1,033,540	33,888	3,666	-93,811	969,951	26.1
1994	1,077,188	225,437	2,29	67,232	1,367,567	36.1
1995	1,159,995	102,006	294	20,485	1,282,192	33.3
1996	1,079,857	131,747	47	-48,36	1,163,197	29.6
1997	1,189,686	166,067	172	-45,676	1,309,906	32.7
1998	1,233,590	288,544	346	56,145	1,577,934	38.6
1999	1,420,401	37,609	15	-30,964	1,427,031	34.3
2000	1,485,739	57,131	38	56,7	1,599,533	37.8
2001	1,503,977	152,091	149	68,528	1,724,447	40.0
2002	1,525,511	62,215	613	-58,092	1,529,021	34.9
1992-2002	13,837,203	1,316,798	8,079	51,135	15,197,056	
<b>Crecim.(%)</b>	4.1%	0.8%	-25.0%		3.9%	50.6%

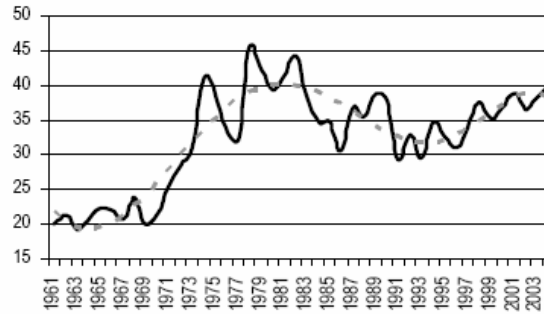
Fuente: Florhuila S.A.

Por otro lado, según cálculos del Observatorio Agrocadenas sobre información de la FAO, el consumo *per cápita* de arroz blanco en Colombia fue de 36.5 kg/hab en el 2002, el cual es inferior al promedio mundial que estaba en ese año en 59.8 kg/hab. Sin embargo, el promedio de los países ALCA<sup>6</sup> presentan un promedio de 21.9 kg/hab, inferior al colombiano y los de MERCOSUR<sup>7</sup> un promedio de 34 kg/hab. La figura 3.1 muestra la tendencia nacional en cuanto al consumo *per cápita*. Se presume que la disminución en el consumo *per cápita* de arroz obedezca al incremento en el consumo de derivados como el trigo, en productos como pan, pastas y galletas, además del maíz y la papa, en parte, por el menor costo de éstos frente al arroz.

<sup>6</sup> 34 países, entre estos los sur americanos: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Perú, Paraguay, Uruguay y Venezuela.

<sup>7</sup> Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela.

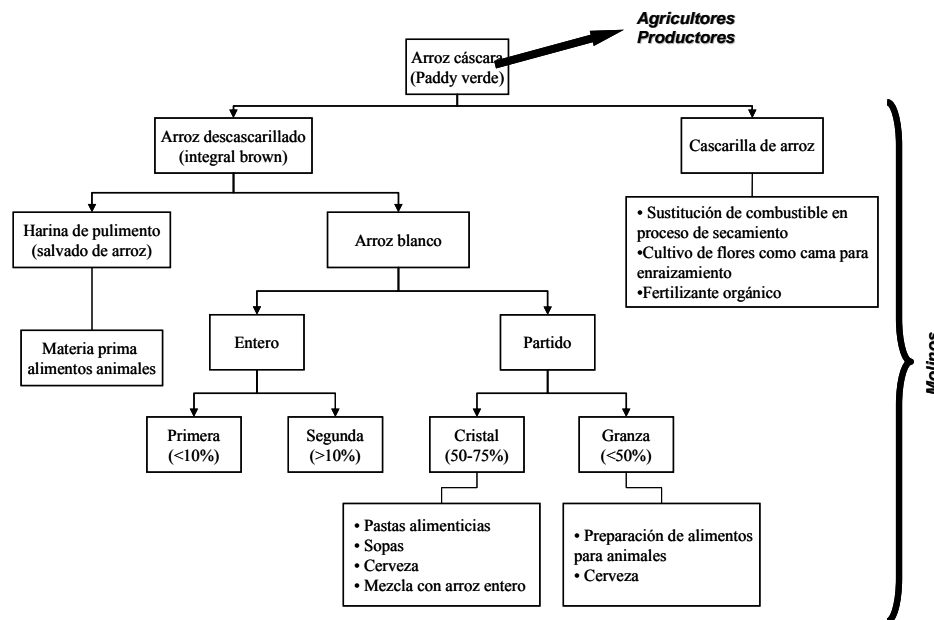
**Figura 3.1.** Consumo *per cápita* de arroz blanco en Colombia (kg/hab)



Fuente: FAO, cálculos Observatorio Agrocalendas

La estructura de la cadena agroindustrial del arroz en el país, se presenta en la figura 3.2. Aunque no se cuenta con datos sobre el número de molinos en Colombia, un estudio realizado en 1998 informa que para el año 1996 existían 189, de los cuales 124 estaban activos [Florhuila S.A.].

**Figura 3.2.** Estructura de la Cadena Agroindustrial del Arroz en Colombia



Fuente: Observatorio Agrocalendas Colombia



Por otro lado, INDUARROZ que es el gremio que representa a los molinos mayoristas del país, reportó en el año 2003 la existencia de 130 molinos arroceros. De acuerdo con el estudio, para 1996 ocho molinos adquirieron más de la mitad de la producción nacional, concentrándose la de arroz paddy en los departamentos del Tolima (36.6%), Meta (22.2%), Huila (21.5%).

Para la investigación, se obtuvieron los datos correspondientes al II Censo Nacional Arrocero, realizado por Fedearroz en el año 2000, con los cuales se definieron los municipios que cultivan el grano y la producción aproximada correspondiente a cada uno de ellos.

**Tabla 3.3.** Producción de arroz por departamentos de Colombia

<b>Departamentos arroceros de Colombia</b>	<b>Producción anual</b>	<b>% prod. Anual</b>
Antioquia	23.545	0,84
Arauca	25.628	0,92
Bolívar	84.488	3,03
Caquetá	223	0,01
<b>Casanare</b>	<b>272.980</b>	<b>9,78</b>
Cauca	16.777	0,60
Cesar	189.368	6,79
Chocó	8.215	0,29
Córdoba	41.743	1,50
Cundinamarca	30.877	1,11
Guajira	15.888	0,57
<b>Huila</b>	<b>283.401</b>	<b>10,16</b>
Magdalena	35.331	1,27
<b>Meta</b>	<b>587.156</b>	<b>21,04</b>
Norte de Santander	142.481	5,11
Nariño (Censo I)	787	0,03
Santander	35.964	1,29
Sucre	101.296	3,63
<b>Tolima</b>	<b>859.870</b>	<b>30,81</b>
Valle del Cauca	33.983	1,22
Atlántico	580	0,02
<b>Total</b>	<b>2.790.581</b>	<b>100</b>

*Fuente: Adaptado del II Censo Arrocero - Fedearroz*

La búsqueda de información se concentró en los cuatro primeros departamentos productores, puesto que éstos comprenden aproximadamente un 71.8 % de la distribución total del producto en el país, estando en primer lugar Tolima y luego, en orden de importancia, Meta, Huila y Casanare.

A continuación se listan los municipios de cada uno de estos departamentos con el porcentaje de producción correspondiente para cada uno, con el fin de evidenciar cuáles son los municipios catalogados como mayores productores.

**Tabla 3.4.** Producción anual de arroz, Departamento del Tolima.

Municipios	Prod. anual	% Prod Anual
Alpujarra	2.176	0,31
Alvarado	24.374	3,43
<b>Ambalema</b>	<b>62.313</b>	<b>8,77</b>
Armero-Guayabal	23.876	3,36
Ataco	1.860	0,26
Chaparral	5.083	0,72
Coyaima	3.392	0,48
<b>Espinal</b>	<b>96.792</b>	<b>13,62</b>
Falán	411	0,06
Flnades	17.797	2,50
Guamo	149	0,02
<b>Ibagué</b>	<b>82.025</b>	<b>11,54</b>
<b>Lérida</b>	<b>42.201</b>	<b>5,94</b>
Mariquita	546	0,08
Natagaima	18.404	2,59
Ortega	18.037	2,54
<b>Piedras</b>	<b>56.098</b>	<b>7,89</b>
Prado	24.649	3,47
<b>Purificación</b>	<b>108.282</b>	<b>15,23</b>
<b>Saldaña</b>	<b>61.667</b>	<b>8,68</b>
San Luis	8.035	1,13
Suárez	1.980	0,28
Valle de San Juan	2.139	0,30
<b>Venadillo</b>	<b>47.300</b>	<b>6,65</b>
Coello	1.166	0,16
<b>Total</b>	<b>710.752</b>	<b>100</b>

*Fuente: II Censo Arroceros – Fedearroz*

**Tabla 3.5.** Producción anual de arroz, Departamento del Huila.

Municipios	Prod. anual	% Prod Anual
Agrado	9.832	3,46
<b>Aipe</b>	<b>15.399</b>	<b>5,43</b>
Algeciras	506	0,18
Altamira	3.285	1,16
Braya	2.107	0,74
<b>Campoalegre</b>	<b>82.319</b>	<b>29,00</b>
Garzón	5.681	2,00
Gigante	2.112	0,74
Hobo	1.404	0,49
Iquirá	914	0,32
Neiva	4.729	1,67
Paicol	2.112	0,74
<b>Palermo</b>	<b>57.942</b>	<b>20,41</b>
Rivera	7.657	2,70
<b>Tello</b>	<b>24.429</b>	<b>8,61</b>
Teruel	540	0,19
Tesalia	9.705	3,42
<b>Villavieja</b>	<b>30.389</b>	<b>10,71</b>
<b>Yaguara</b>	<b>22.671</b>	<b>7,99</b>
Colombia	118	0,04
<b>Total</b>	<b>283.851</b>	<b>100</b>

Fuente: II Censo Arroceros – Fedearroz

**Tabla 3.6.** Producción anual de arroz, Departamento del Meta

Municipios	Prod. anual	% Prod Anual
Acacias	20.344	4,20
Barranca de Upía	8.198	1,69
<b>Cabuyaro</b>	<b>48.187</b>	<b>9,94</b>
Castilla La Nueva	24.502	5,06
<b>Cumaral</b>	<b>28.653</b>	<b>5,91</b>
El Castillo	2.165	0,45
<b>Fuente de Oro</b>	<b>88.117</b>	<b>18,18</b>
<b>Granada</b>	<b>29.866</b>	<b>6,16</b>
Lejanías	1.605	0,33
Puerto Gaitán	2.973	0,61
Puerto Lleras	5.215	1,08
<b>Puerto López</b>	<b>83.303</b>	<b>17,19</b>
Restrepo	4.910	1,01
<b>San Carlos de Guaroa</b>	<b>40.764</b>	<b>8,41</b>
San Juan de Arama	1.610	0,33
San Martín	7.951	1,64
<b>Villavicencio</b>	<b>79.185</b>	<b>16,34</b>
Vista Hermosa	7.031	1,45
<b>Total</b>	<b>484.579</b>	<b>100</b>

Fuente: II Censo Arroceros – Fedearroz

**Tabla 3.7.** Producción anual de arroz, Departamento del Casanare

Municipios	Prod. anual	% Prod Anual
Aguazul	11.646	5,97
Maní	5.525	2,83
<b>Nunchía</b>	<b>64.601</b>	<b>33,09</b>
Poré	855	0,44
San Luis de Palenque	17.738	9,09
Tauramena	16.387	8,39
Trinidad	5.848	3,00
<b>Villanueva</b>	<b>37.611</b>	<b>19,27</b>
<b>El Yopal</b>	<b>34.995</b>	<b>17,93</b>
<b>Total</b>	<b>195.206</b>	<b>100</b>

Fuente: II Censo Arrocero – Fedearroz

La figura 3.3 muestra las zonas arroceras de los cuatro departamentos preseleccionados, de acuerdo con las tablas anteriores.

**Figura 3.3.** Cuatro principales zonas arroceras de Colombia



### 3.2. Toxicidad y Farmacocinética del cadmio

En cuanto al cadmio, el límite permisible de ingestión, según la WHO y USEPA, de acuerdo con estudios de epidemiología, está entre  $70\mu\text{g}/\text{día}$  y  $75\mu\text{g}/\text{día}$ . Adicionalmente, el cadmio puede generar problemas en el organismo, tanto en exposiciones agudas como crónicas; sin embargo, las vías de entrada que general estos problemas son la oral y la respiratoria, puesto que no se ha demostrado que el contacto dérmico genere reacciones tóxicas.

Existen estudios epidemiológicos que reportan un incremento en los efectos en la salud humana, generados por la presencia de Cd, en los últimos años. Por ejemplo, la implementación de utensilios de cocina y comedor con contenido de *cadmio plateado* incrementa la concentración del metal cuando se usan para consumir alimentos ácidos.

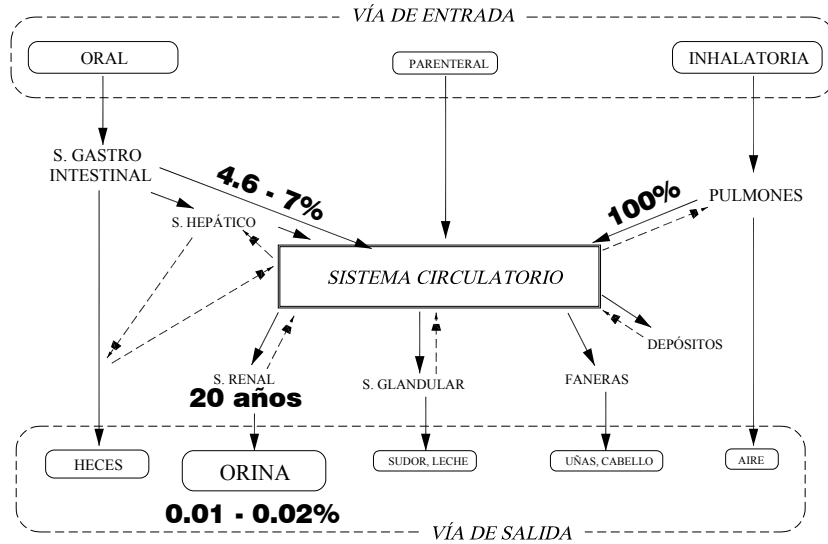
Las enfermedades causadas por Cd, hasta ahora conocidas, son la *itai-itai* encontrada en Japón, y disfunción renal y osteoporosis, en países como Bélgica y China. Adicionalmente, experimentos realizados con animales, evidencian la generación de cáncer de pulmón, efisema pulmonar y neumonía intersticial. Por otro lado, el hígado se puede ver afectado más por exposiciones agudas y con altas concentraciones, que por exposiciones crónicas.

El órgano más afectado es el riñón, en el cual se acumula principalmente el Cd, generando disfunción tubular del mismo, o dañando su membrana. Existen estudios epidemiológicos en animales que evidencian la relación entre la disfunción tubular renal y la pérdida de calcio por la orina y los cambios en el metabolismo de la vitamina D.

Por otro lado, se ha debatido acerca de la relación entre la presión de la sangre y la exposición al Cd; bajo condiciones especiales, la presión arterial de animales

En la figura 3.4 se aproximan los porcentajes de distribución del cadmio en el organismo, de acuerdo a la exposición.

**Figura 3.4. Farmacocinética del cadmio.**



Fuente: Adaptación de *Heavy metals in the environment*. Sarkar, Bibudhendra.

El cadmio puede ingresar al organismo por inhalación, bien sea por el consumo de cigarrillos, o por exposición ocupacional. Sin embargo, las exposiciones por actividades industriales han disminuido con el tiempo; en los años 50 se reportaron concentraciones tan altas como  $10\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en reportes más recientes, se evidencian concentraciones cercanas a los  $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  en algunos países [SARKAR, Bibudhendra]. La inhalación del Cd depende tanto del tamaño de la partícula que lo contiene, como de la solubilidad del mismo.

Cuando el cadmio entra por la vía oral, su absorción será mayor dependiendo de factores como por ejemplo, una baja producción de proteínas, bajo nivel de vitamina D, calcio, hierro, zinc y cobre. Sin embargo, una alta producción de fibra, puede resultar en un bajo nivel de absorción intestinal del Cd.

Se estima que la vida media biológica del Cd en el riñón es de aproximadamente 20 años, en humanos, por lo cual es altamente acumulable a lo largo de la vida. Debido a esto, es poco el nivel de Cd que puede salir por la orina. Adicionalmente, si se encuentra Cd en las heces, lo que indica es que esa cantidad no fue absorbida por el organismo.

En cuanto a normatividad relacionada no se encontraron concentraciones máximas para el arroz. El CODEX Alimentarius sugiere unas concentraciones máximas de Cd pero para legumbres y leguminosas, excluido el arroz, y otras para el trigo en grano, las cuales se tuvieron en cuenta en esta investigación.

Adicionalmente, se recopilieron diferentes dosis basadas en estudios de toxicología en animales, principalmente ratas, mediante los cuales se identifican diferentes tipos de dosis: LOAEL ó *Low Observed Adverse Effects Level*, bajo la cual se observan los primeros efectos tóxicos en el animal, la NOAEL ó *Non Observed Adverse Effects Level*, la dosis MRL ó *Minimal Risk Level*, la dosis de ingesta máxima diaria, entre otras. La tabla 3.8 muestra un resumen de las dosis que se compilaron para realizar la posterior comparación con las concentraciones medidas en los granos muestreados.

**Tabla 3.8.** Resultados de laboratorio

Concentración	Unidad	Consideraciones	Fuente
0.1	mg/kg	Kg de alimento. Legumbres y leguminosas, excluido el arroz	CODEX Alimentarium. CAC/GL 39-2001
0.2	mg/kg	Trigo en grano	CODEX Alimentarium
0.0021	mg/kg/día	NOAEL, kg de masa corporal	ATSDR, Nowaga et al. 1989
0.0002	mg/kg/día	MRL, kg de masa corporal. NOAEL/10 <sup>1</sup>	ATSDR. U. of Arizona
1.0	µg/kg/día	No exceder	JECFA <sup>2</sup>
10 - 35	µg	Dosis oral diaria	JECFA
0.0067 – 0.0083	g/kg	Kg de masa corporal. Ingesta máxima semanal	González S, Mejía L. 1995
0.5	mg/kg	Kg de producto. Sal de mesa	Reglamento Alimentario Chileno
70	µg/día	Límite permisible para ingestión	WHO / USEPA
0.05	µg/kg/día	LOAEL, nefrotoxicidad	Lauwerys et al. 1991

<sup>1</sup> Factor de Incertidumbre, Fl. Toxicología Ambiental. University of Arizona, Center for Toxicology.  
<sup>2</sup> Joint FAO/WHO Expert Comité of Food Additives

Para terminar, el Cd es declarado cancerígeno, según el *Nacional Toxicology Program*. Además de ser reconocido como cancerígeno, es sospechoso de intoxicación cardiovascular, del riñón, e intoxicación neurológica y respiratoria.

### 3.3. Cadmio en Colombia

Los depósitos más importantes de zinc, por lo tanto de cadmio, en Colombia, se pueden agrupar en dos grandes tipos [Publicación Geológica Especial. INGEOMINAS, No.1, 1987]:

- Depósitos no necesariamente restringidos a rocas sedimentarias entre los cuales se tiene: i) Skarn de Pb-Zn, ii) Depósitos de reemplazamiento irregular, y iii) Depósitos de vena.
- Depósitos localizados dentro de secuencias estratificadas de rocas sedimentarias o volcánicas, o depósitos estratoconfinados. De estos últimos se extrae la mayor cantidad de Zn en el mundo.

De acuerdo con la escasa presencia del cadmio en la naturaleza y teniendo en cuenta que su mayor presencia está relacionada con el cinc, se ubicaron fuentes informativas de estudios realizados en los suelos colombianos, relacionados con la explotación del Zn, principalmente; además se revisaron documentos de prospección geoquímica en diferentes zonas, además de medición de metales traza en sedimentos y finos de diferentes fuentes de agua. Toda esta información se incluyó dentro de un mapa de Colombia, utilizando los programas AutoCAD 2006 y ArcMAP 9.3.

La tabla 3.9 muestra los diferentes tipos de información que conforman el mapa SIG de la zona de estudio.



**Tabal 3.9.** Capas incluidas en el Mapa SIG, en relación con el metal traza.

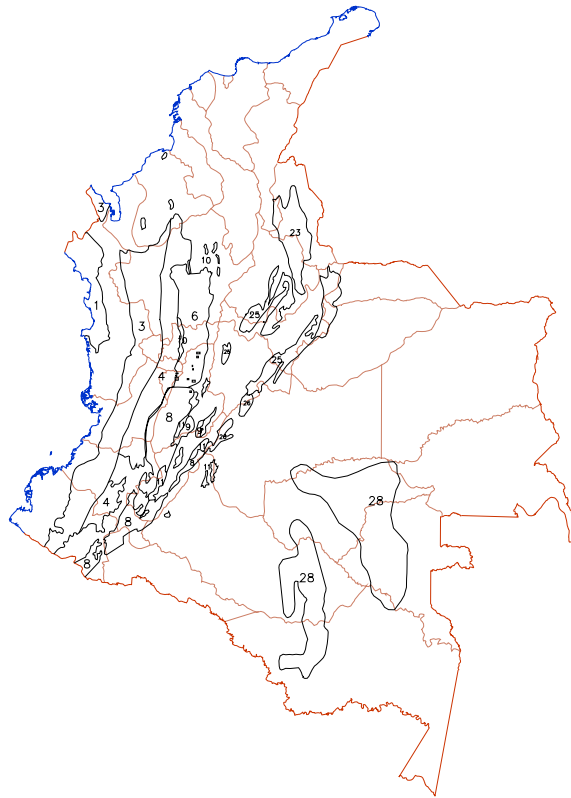
Ítem	Aspecto
1	La región que incluye los municipios de mayor producción de arroz en el país, de acuerdo con el censo arrocero publicado por FEDEARROZ
2	Los municipios que producen la mayor cantidad de arroz, dentro del departamento que reporta la mayor producción del país.
3	Las zonas en las que se presentan prospectos de cadmio en relación a los prospectos de cinc, por ambientes geológicos, en Colombia
4	La ubicación de áreas de explotación minera, según inventario minero de INGEOMINAS
5	La existencia de estudios técnicos de prospección o dispersión geoquímica de cadmio o cinc, o en muestras de suelos o en sedimentos de fuentes de agua.
6	Mediciones realizadas sobre sedimentos del Río Saldaña

Como se observa en la tabla anterior, se tuvo en cuenta la información relacionada con la explotación minera en Colombia, puesto que en los sitios donde se lleva a cabo esta actividad existe una alta probabilidad de liberación de diferentes metales pesados al medio ambiente, en especial forma si el material explotado es mineral metálico, mineral no metálico o metal precioso, para lo cual se extrajo la información del Inventario Nacional Minero del INGEOMINAS.

En cuanto a la presencia directa de cadmio en el País, se encontró que puede haber depósitos en las calizas de la formación Payandé y otras formaciones mesozóicas en la parte sur de la Cordillera Central.

Con base en las prospecciones geoquímicas de Zn en Colombia, el INGEOMINAS elaboró un mapa de posibles yacimientos relacionados con el cadmio en Colombia, según se muestra en la figura 3.5, en la cual se presentan diferentes clasificaciones de acuerdo a las formaciones de los suelos, así: Skarn de Pb-Zn (8,9) – Depósitos hospedados en vulcanitas marinas Chipre (1,3,4,12) – Pb, Zn hospedados en sedimentos de origen marino (6,10,11,23,25,26) – Pb, Zn hospedados en areniscas (28).

**Figura 3.5.** Prospectos de Cd en la zona de estudio



*Fuente: Recursos Minerales de Colombia. INGEOMINAS*

En la figura anterior se puede apreciar la concentración del metal pesado en forma especial sobre las cordilleras, zonas especialmente utilizadas para cultivar la mayoría de los productos alimenticios que se consumen en el país.

Por otro lado, la geología relacionada con la posible presencia de Cd en los suelos de Colombia, es:

- Calizas de la Formación Payandé
- Terrenos Cajamarca, Payandé Garzón, Caquetá y Amazonas (Dominio 8)
- Cuenca de Cundinamarca (sedimentitas de origen marino)

En cuanto al Zn, se tiene:

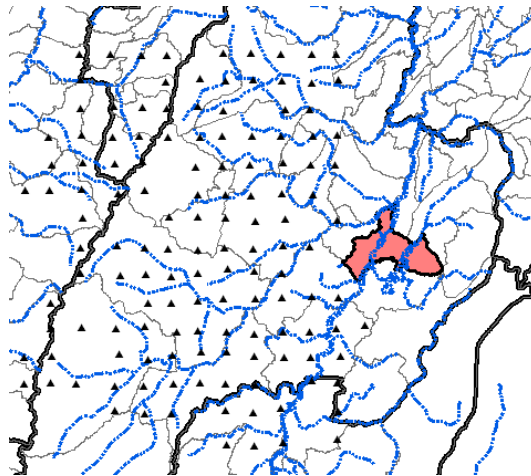
- Grupo diabásico (región occidental del país)
- Grupo Dagua (región occidental del país)

- Grupo Cañasgordas (región occidental del país)

Cabe anotar acá que se revisaron al detalle 68 informes técnicos registrados en el INGEOMINAS, los cuales contenían prospección geoquímicas, ocurrencias minerales, geología, dispersión geoquímica petrología y geoquímica de diferentes metales pesados, básicos y preciosos, en diferentes zonas del país. De estos informes, sólo 3 muestran explícitamente concentraciones de Cd en las muestras tomadas. Adicionalmente, sólo uno de estos proyectos se realizó en parte del departamento del Tolima.

Adicionalmente se encontró el “Proyecto de Metales Básicos en las Cordilleras Central y Occidental” realizado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, en el cual se realizaron algunas mediciones de metales pesados; en la figura 3.6 se muestra la ubicación de las muestras en algunas de las cuales se encontraron concentraciones de Zn, las cuales varían entre 20 y 120 ppm.

**Figura 3.6.** Explotación minera en la zona de estudio



*Fuente: Estudio Naciones Unidas - INGEOMINAS*

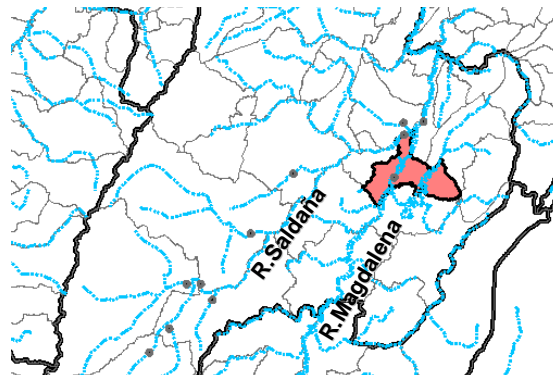
Si se observa la distribución de quebradas y ríos, se puede inferir la presencia de los metales detectados en las muestras en las aguas de riego del distrito USOSALDAÑA, el cual abastece de agua a los campos de sembradío de arroz de los municipios de Saldaña

y Purificación. Es importante resaltar la asociación que puede hacerse entre la presencia de Cd y la explotación del Zn.

Por otro lado, se buscó información referente al Río Saldaña, principal fuente hídrica de la zona. Según el estudio “Concepto sobre la influencia del proyecto de mineros El Dorado S.A. en la zona del río Saldaña, municipio de Ataco y Chaparral”, la problemática de sedimentación del río y varias quebradas de la cuenca ha aumentado por causa de la explotación minera. Según esto, es presumible que la cantidad de metales pesados en las aguas también sea importante; en este sentido se han observado indicadores de los impactos tales como la merma de fauna íctica en el río. En este sentido, el estudio informa que “la degradación de la cuenca se refleja en las dificultades que se presentan en el distrito de riego USOSALDAÑA”.

Finalmente, según el estudio “Análisis de la dispersión geoquímica de metales traza en la cuenca del río Saldaña”, realizado por el Ministerio de Minas y Energía e INGEOMINAS, se encontraron concentraciones de cadmio en las muestras tomadas en los sedimentos de fondo del río y las quebradas que se indican en la figura 3.7, fuentes del distrito de riego, en la cual se aprecian los puntos de muestreo del estudio.

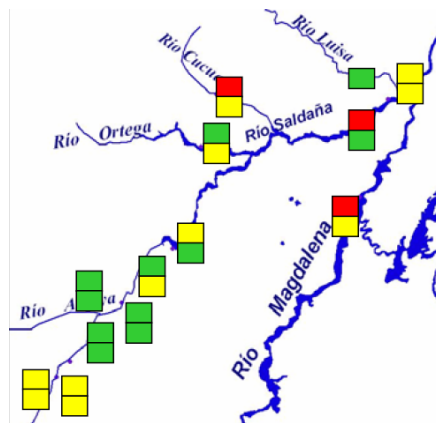
**Figura 3.7.** Ubicación de puntos de muestreo en sedimentos de fondo del río Saldaña



*Fuente: GÜIZA, Sonia*

En este estudio, las concentraciones de Cd varían entre 0.09 ppm y 2.33 ppm, con un promedio de 0.77 ppm para ataque total, mediante el cual se extrae el 90% del metal de la muestra. Adicionalmente, en este estudio se realizaron pruebas para medir el índice de movilidad de los diferentes metales, mediante las cuales se determinó que el Cd es el que presenta mayor riesgo de contaminación, especialmente en las zonas pertenecientes a los municipios de Saldaña y Purificación, tal como se observa en la figura 3.8.

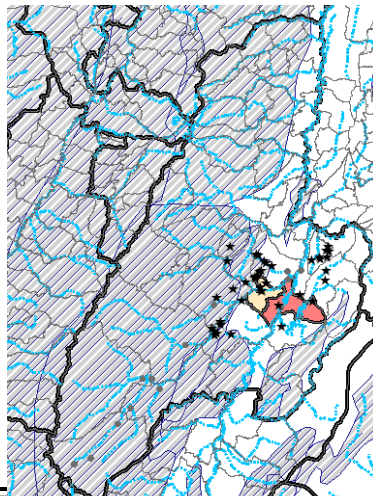
**Figura 3.8.** Índice de movilidad para el Cd (Rojo: alto, amarillo: medio, verde:bajo)



Fuente: GÜIZA, Sonia

Debido a la información encontrada, se decidió tomar muestras en fincas que formen parte del sistema de riego USOSALDAÑA. En la figura 3.9 se puede apreciar la información recolectada.

**Figura 3.9.** Resumen de la ubicación de la información recopilada



### 3.5. Resultados de laboratorio y análisis

Se seleccionaron cinco fincas dentro del distrito de riego USOSALDAÑA, de modo que se pudieran analizar diferentes variedades del grano, tal como se muestra en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10.** Variedades de arroz muestreadas

Muestra	Variedad	Municipio
M1	Orizia 1	Saldaña
M2	Fedearroz 50	Saldaña
M3	Fortaleza	Saldaña
M4	CD 2528 Aceituno	Purificación
M5	Yacu 9	Saldaña

El arroz recolectado era paddy (con cascarilla) por ser directamente obtenido de las fincas. En la figura 3.10 se pueden apreciar algunas de ellas. Nótese que hay unas muestras que presentan un color rojizo, debido al fungicida aplicado por el agricultor.

**Figura 3.10.** Presentación de las muestras



Las muestras se sometieron a un proceso de descascarado manual, mediante la utilización de un molino de bolas, hasta el punto de obtener 200 gr de cada una. Con estos granos, luego del correspondiente proceso de digestión, se realizó el ensayo de absorción atómica por llama, con un límite de detección fijado en 0.008 ppm, según información extraída de la literatura.

Los resultados obtenidos en los ensayos se presentan en la tabla 3.11, de acuerdo con el reporte del CITEC.

**Tabla 3.11.** Resultados de laboratorio

Muestra	Cd (mg/kg b.s.)	Cenizas (%)	w%	ST
M1	0,21	3,6	14,2	85,8
M2	<0,008	7,2	13,7	86,3
M3	0,034	3,7	12,1	87,9
M4	0,16	9,7	14,3	85,7
M5	0,01	7,6	12,7	87,3

En donde  $w\%$  es el contenido de humedad de las muestras y  $ST$  los sólidos totales de las mismas.

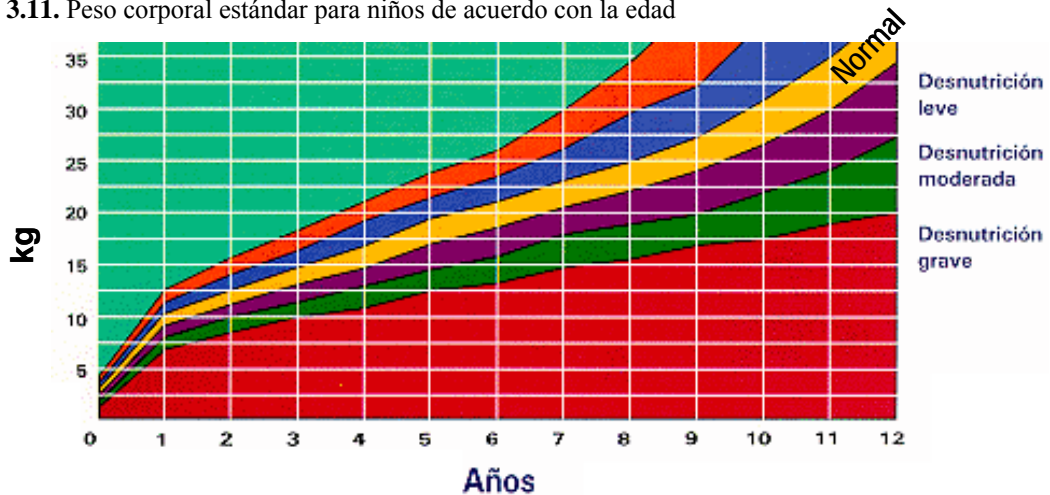
De acuerdo con datos encontrados en la bibliografía el arroz sembrado en áreas no contaminadas pueden contener entre 0.008 y 0.18 mg/kg en peso seco de arroz, valor superado por la muestra M1, de acuerdo con los reportes de la tabla 4.6.

Por otro lado, las concentraciones encontradas en las muestras 1 y 4, evidencian un riesgo alto para la salud respecto a la mayoría de las dosis máximas recomendadas por los diferentes autores. Particularmente para el caso de las normas encontradas en el CODEX Alimentarius, en las cuales se recomiendan concentraciones máximas de 0.1 para legumbres y leguminosas y 0.2 mg/kg para trigo en grano, las cuales fueron utilizadas en estos análisis por no encontrarse normatividad relacionada directamente

con el arroz; la M1 es superior a ambas recomendaciones, mientras que la M4 es superior a la relacionada con leguminosas.

Según especificaciones nutricionales, una porción normal de arroz para un preescolar de 4 años de edad, cuyo peso corporal promedio estándar es de 15 kg, de acuerdo con la figura 3.11, es de 50 gramos cocinado, es decir 17 gr en crudo. Este dato se tuvo en cuenta para analizar las dosis toxicológicas que se relacionan con el peso corporal y con la ingesta del contaminante.

**Figura 3.11.** Peso corporal estándar para niños de acuerdo con la edad



Fuente: <http://www.mipediatra.com.mx>

Teniendo en cuenta esto, la dosis MRL (Minimal Risk Level) propuesta por la ATSDR de 0.0002 mg/kg/día, arroja un riesgo alto para la muestra M1 pues la ingesta de Cd sería superior, mientras que el riesgo con el granos de la M4 presenta un riesgo medio al ser esta concentración equivalente a un 85.7% de la MRL.

Por otro lado, se encontró que para las recomendaciones que hace la Organización Mundial de la Salud de una ingesta máxima diaria de 70 microgramos para un adulto, cuyo peso corporal estándar varía entre 60 kg para una mujer y 70 kg para un hombre, el equivalente para un niño de 4 años de edad sería de 15 microgramos diarios. Respecto a



esta dosis las concentraciones encontradas en los granos analizados, no presentaría un riesgo alto; por ejemplo, la concentración encontrada en la M1, de acuerdo con la cantidad incluida en una porción estándar, equivale a un 23.8% de la recomendada.

A estos análisis de debe sumar que el consumo del arroz puede asemejarse con una dosificación crónica pues es diaria y durante años, desde edades muy tempranas por ser elemento de la canasta básica familiar en la población colombiana.

Finalmente, no se encontró una relación directa entre la presencia observada de agroquímicos en las muestras y el contenido de cadmio; de acuerdo con los elementos organoclorados y organofosforados que controla la normatividad contenida en el CODEX Alimentarius, se revisó el agente activo de cada uno y se encontró que en efecto, el Cd no está presente en ninguno de ellos.

**Tabla 3.12.** Pesticidas controlados por el CODEX Alimentarius

Producto	Agente Activo	Producto	Agente Activo
arroz	bentazona	arroz descascarado	carbofuran
arroz	clorpirifos	arroz descascarado	fention
arroz	clorpirifos-metilo	arroz descascarado	flutolanil
arroz	diflubenzuron	arroz descascarado	iprodiona
arroz	diquat	arroz descascarado	tebufenozida
arroz	endosulfan	Arroz pulido (blanco)	carbarilo
arroz	fentin	Arroz pulido (blanco)	clordano
arroz	fipronil	Arroz pulido (blanco)	diquat
arroz	glifosato	Arroz pulido (blanco)	fenitrotion
arroz	paraquat	Arroz pulido (blanco)	flutolanil
arroz descascarado	2,4-D	Arroz pulido (blanco)	paraquat

#### 4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la primera etapa de la investigación se evidenció la falta de estudios que identifiquen con precisión las zonas del país que pueden presentar concentraciones importantes de cadmio, tanto en suelos, como en sedimentos de fuentes de agua. Sin embargo, sí se encontraron coincidencias entre las zonas en las que se cultiva arroz en Colombia y la potencial presencia de cadmio, de acuerdo con los estudios encontrados para la zona de estudio específica.

De acuerdo al planteamiento de la hipótesis, con las muestras analizadas se logró confirmar la potencial presencia del cadmio en el arroz sembrado en Colombia, la cual, según los análisis realizados, puede estar causando problemas en la salud de los consumidores, especialmente por la propiedad de acumulación del metal en el organismo y definirse su consumo como crónico.

Con las concentraciones encontradas se evidencia que el metal pesado efectivamente se deposita en el fruto de la planta del arroz.

En la normatividad vigente existente a nivel nacional, no se encuentran dosis máximas permitidas de cadmio específicamente en el arroz, por lo cual se evidencia un vacío importante en el control de este tipo de contaminantes.

Es importante considerar la importancia de estudios como este, más aún si se tiene en cuenta que este es un alimento que compone la canasta básica familiar de toda la población, independientemente del estrato socioeconómico de la misma y que su consumo se inicia desde corta edad de vida.

## 5. RECOMENDACIONES

Habiéndose avanzado en la factibilidad de encontrar cadmio en los granos de arroz sembrados en el país, la cual se confirma con este estudio, se recomienda continuar con la investigación, de forma que se plantee un análisis más profundo con un mayor número de muestras y de ensayos de laboratorio, con el fin de fortalecer los argumentos para declarar una emergencia sanitaria relacionada con el consumo de estos granos.

Adicionalmente, se recomienda que, en un trabajo multidisciplinar con ciencias de la salud, se confirme si existe alguna correlación entre los registros de enfermedades relacionadas con la toxicidad del cadmio, en Colombia, y el consumo del arroz como posible causa.

Por otro lado, se recomienda hacer un seguimiento *aguas arriba* de las actividades industriales que pueden estar vertiendo el cadmio a las fuentes de agua.

Por último, se recomienda realizar un estudio en relación con las trazas de elementos relacionados con los fungicidas y pesticidas aplicados en las fincas, que se encuentren presentes en el arroz una vez se realicen los procesos correspondientes de blanqueo y/o vaporizado, y que los resultados se comparen con los límites fijados por el CODEX Alimentarius.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES

- ALVARADO C., Irma H., SANABRIA V., Consuelo. *Porciones de alimentos comunmente utilizadas para adultos*. Tesis y disertaciones académicas, Nutrición y dietética. Pontificia Universidad Javeriana. 1989.
- ASARCO incorporated. Environmental Contamination and other Hazards. Public Health assesment. (Globe plant), Denver, Colorado. 1995
- BARRERA T., Sergio F.. La problemática ambiental del tercer mundo. Universidad de los Andes. 1993.
- BENNETT, William F. *Nutrient deficiencies y toxicities in crop plants*. APS PRESS, the American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 1996.
- BIDUHENDRA, Sarkar. Heavy Metals in the Envorinment. Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, Basel. 2002.
- BRACK Antonio; MENDIOLA, Cecilia. Artículo: El Cadmio y la Salud. Perú. 2000.
- BRAGA S., A parecida. CATIRCE, Alma. *Efecto tóxico del ión cadmio sobre la glándula submandibular de rata adulta*. Revista Chilena de Anatomía. Temuco, 2001.
- CODEX Alimentarius. *Normas alimentarios FAO/OMS*. 2006.
- CÓRDOBA P., Darío. Toxicología. Editor Darío Córdoba. Medellín, Colombia. 2a Edición. 1991.
- CORREA, Héctor Jairo. Normatividad de la producción agropecuaria en Colombia: Aspectos generales. Departamento de Producción animal, Universidad Nacional de Colombia. 2004.
- ESPINAL, Carlos F, MARTÍNEZ, Héctor, ACEVEDO, Ximena. Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas de Colombia. *La cadena del arroz en Colombia*. Diciembre de 2005.
- EPA – ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA
- FAO, Departamento Económico y Social. *Perspectivas alimentarias 06/96*. Roma, 1996.
- FEDEARROZ. Oficina de Investigaciones Económicas.
- FEDEARROZ. *II Censo arrocero de Colombia*. 2005
- GONZALEZ C., Luz Miryam. Tesis: Estudio de contaminación de suelo de la Sabana de Bogotá por metales pesados. Universidad de los Andes. 1997
- GÜIZA, S., CEDEÑO, C., GONZÁLEZ, J. *Análisis de la dispersión geoquímica de metales traza en el río Magdalena, Sector Turquí, Tolima*. 1999
- GÜIZA, S., CEDEÑO, C., GONZÁLEZ, J. *Análisis de dispersión geoquímica de metales traza en la cuenca del Río Saldaña, Tolima*. 2000
- GUZMÁN MEJÍA, María Patricia. *Importancia de la semilla de arroz certificada*. Fondo Latinoamericano para arroz de riego, Foro Mayo 2003.
- HORRA N., Julián de la. *Estadística aplicada*. 2003.
- INGEOMINAS. *Recursos Minerales de Colombia*. Segunda Edición. Tomo I, Metales Preciosos y Metales Básicos. ISSN-0120-078X. 1987
- INGEOMINAS – PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. *Proyecto de metales básicos en las Cordilleras Central y Occidental, Colombia*. 1977

- INGEOMINAS. Publicación Geológica Especial No.1, 1987
- INGEOMINAS. *Inventario Minero de Colombia*. 2000.
- IPCS, International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 221: Zinc. World Health Organization. Geneva, 2001.
- JORHEM L.; SUNDSTRÖM B. *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. 1993
- LENNITECH, Delft Holanda, 1998-2004
- LIU, Jianguo; LI, Kunkan. *Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes*. Junio de 2003.
- LOUÉ, André; versión española de DOMINGUEZ V., Alonso. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 1988
- MATA, Luz; SÁNCHEZ, Lourdes; CALVO, Miguel. Cadmio en leche y otros alimentos. MEDSPAIN. España. 1999.
- MASSON, Lilia. Documento: Mesa redonda FAO / SLAN / LATINFOODS.
- MARTÍN, Francisco; CARRASCO, Israel.. Artículo: La fertilización mineral en agricultura ecológica. PATENTKALI. 2002.
- MARTINEZ, Enrique. Utilización de plantas no acumuladoras para fitorremediación de suelos contaminados. España.
- MARTÍNEZ, T., CAMBRA, K. CUETOS, Y, URZELAI, A. *Calidad del suelo – valores máximos admisibles en suelo para la protección de la salud*. Departamento de Ordenación del Territorio, la Vivienda y el Medio Ambiente del Gobierno Vasco e IHOBE S.A., Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 2000.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Observatorio de Agro cadenas, Informe de coyuntura. Primer trimestre de 2006*.
- MONTGOMERY, Douglas C. Design and analysis of experiments. 1997.
- NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM. Department of Health and Human Services. US.
- NAVARRO, Simón; NAVARRO, Gines. *Química Agrícola, El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2000
- OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA. *Informe de coyuntura, Arroz*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2006.
- PARIS Q., Gabriel, RODRÍGUEZ, Antonio. *Concepto sobre la influencia del proyecto de mineros El Dorado S.A. en la zona del río Saldaña, municipio de Ataco y Chaparra, Tolima. Informe Técnico INGEOMINAS. 1984*
- PICOLI L., Cristina, WATANABE, Ii-Sei. *Efectos del cadmio en la mucosa yugal de la rata durante la lactancia. Estudio morfológico e histométrico*. Internacional Journal of Morphology. Temuco, 2003
- SARKAR, Bibudhendra. *Heavy metals in the environment*. New Cork: Marcel Dekker, 2002.
- SILBERGELD, Ellen K. *Toxicología, herramientas y enfoques*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo.

- VILLANUEVA N., Liliana Regina. *Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en los suelos cultivados con maíz*. Universidad de Chile. 2004.
- VOET, Ester. *Heavy metals : a problem solved?: methods and models to evaluate policy strategies for heavy metals*. Boston, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000