

**CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL EMBALSE DEL MUÑA Y  
SU RELACION CON LOS NIVELES EN SANGRE DE PLOMO, MERCURIO Y  
CADMIO Y ALTERACIONES DE SALUD EN LOS HABITANTES DEL  
MUNICIPIO DE SIBATÉ (CUNDINAMARCA) 2007**

**DAVID ANDRÉS COMBARIZA BAYONA MD  
COD 597588**

**Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de Magister en  
Toxicología**

**Directora  
Dra. Marcela Varona Uribe  
Medica Especialista en Toxicología, Epidemiología y Medicina del Trabajo**

**Codirectora  
Dra. Alba Isabel Rodríguez Pulido  
Medica Magister en Toxicología. Especialista en Salud Ocupacional**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGIA  
BOGOTA  
2009**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, \_\_\_\_\_

**El presente trabajo está dedicado a mi esposa Patricia, quien me ha enseñado que la constancia y la disciplina son herramientas necesarias para construir el camino que lleva a la realización de los sueños.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de forma muy especial el aporte personal y profesional que cada una de estas personas realizaron durante el desarrollo del presente trabajo.

**Del Instituto Nacional de Salud – Laboratorio de Salud Ambiental:**

Dra. MARCELA VARONA URIBE, Medica Toxicóloga, Especialista en Epidemiología y Medicina del trabajo. Directora del Laboratorio de Salud Ambiental.

SONIA DIAZ, Microbióloga;

ROCIO MORATO, Microbióloga;

ANGELICA LANCHEROS, Microbióloga;

LIGIA MORALES, Química;

CARLOS TORRES, Medico Epidemiólogo.

**De la Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología:**

Dra. MYRIAM GUTIERREZ, Medica Toxicóloga, Docente del Departamento de Toxicología.

JOSE FERNANDO ZEA, Estadístico.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 13 |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 16 |
| 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN Y LA ZONA DE ESTUDIO.....                   | 20 |
| 1.2 MONITOREO DE METALES PESADOS EN EL RIO BOGOTÁ .....                         | 23 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 24 |
| 3. JUSTIFICACIÓN .....  | 34 |
| 4. MARCO TEÓRICO .....  | 35 |
| 4.1 GENERALIDADES DE METALES PESADOS .....                                      | 35 |
| 4.1.1 Contaminación acuática con metales pesados.....                           | 36 |
| 4.2 PLOMO .....   | 37 |
| 4.2.1 Comportamiento en matrices ambientales.....                               | 38 |
| 4.2.2 Vías de exposición.....   | 38 |
| 4.2.3 Toxicocinética .....  | 39 |
| 4.2.4 Mecanismo de acción toxica .....  | 40 |
| 4.2.5 Manifestaciones Clínicas de la Intoxicación con Plomo .....               | 41 |
| 4.2.6 Diagnóstico y tratamiento de casos de intoxicación por plomo .....        | 42 |
| 4.2.7 Monitoreo Biológico .....   | 43 |
| 4.3 MERCURIO.....   | 44 |
| 4.3.1 Comportamiento en matrices ambientales.....                               | 45 |
| 4.3.2 Vías de exposición.....   | 45 |
| 4.3.3 Toxicocinética .....  | 46 |
| 4.3.4 Mecanismo de acción toxica .....  | 46 |
| 4.3.5 Manifestaciones Clínicas Intoxicación por Mercurio .....                  | 47 |
| 4.3.6 Diagnóstico y tratamiento de los casos de intoxicación por mercurio ..... | 48 |
| 4.3.7 Monitoreo Biológico .....   | 48 |
| 4.4 CADMIO .....  | 49 |
| 4.4.1 Comportamiento en matrices ambientales.....                               | 49 |
| 4.4.2 Vías de Exposición .....  | 50 |
| 4.4.3 Toxicocinética.....   | 50 |
| 4.4.4 Mecanismo de acción toxica .....  | 51 |
| 4.4.5 Manifestaciones clínicas de la intoxicación con Cadmio .....              | 52 |
| 4.4.6 Diagnostico y Tratamiento de la intoxicación con cadmio .....             | 53 |
| 4.4.7 Monitoreo Biológico .....   | 53 |
| 5. OBJETIVOS .....  | 55 |
| 5.1 OBJETIVO GENERAL .....  | 55 |
| 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 55 |
| 6. METODOLOGÍA .....  | 56 |
| 6.1 TIPO DE ESTUDIO.....  | 56 |
| 6.2 ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO.....   | 56 |
| 6.3 POBLACIÓN A ESTUDIO .....   | 56 |
| 6.3.1 Criterios de Inclusión .....  | 56 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 6.3.2                                       | Criterios de Exclusión .....               | 57  |
| 6.3.3                                       | Calculo del tamaño de la muestra .....     | 57  |
| 6.3.4                                       | Estrategia de muestreo.....                | 58  |
| 6.4   | DEFINICIÓN DE VARIABLES.....               | 61  |
| 6.4.5                                       | Niveles de metales pesados en sangre ..... | 63  |
| 6.5   | INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....        | 65  |
| 6.5.1                                       | Consentimiento informado.....              | 65  |
| 6.5.2                                       | Encuesta .....                             | 65  |
| 6.6   | PRUEBA PILOTO .....                        | 66  |
| 6.7   | EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....        | 66  |
| 6.7.1                                       | Diligenciamiento de Instrumentos .....     | 67  |
| 6.7.2                                       | Toma de las muestras .....                 | 67  |
| 6.7.3                                       | Valoración Médica .....                    | 68  |
| 6.7.4                                       | Análisis de muestras biológicas .....      | 68  |
| 6.8   | MANEJO DE LA INFORMACIÓN.....              | 69  |
| 6.8.1.                                      | Recopilación y procesamiento.....          | 69  |
| 6.8.2.                                      | Plan de Análisis .....                     | 69  |
| 6.8.3.                                      | Control de sesgos.....                     | 70  |
| 6.9   | Consideraciones Éticas del estudio.....    | 70  |
| 6.10  | Propiedad intelectual .....                | 71  |
| 7.  | RESULTADOS.....                            | 72  |
| 7.1   | Análisis descriptivo univariado .....      | 72  |
| 7.1.1                                       | Variables Socio demográficas .....         | 72  |
| 7.1.2                                       | Variables Ocupacionales .....              | 74  |
| 7.1.3                                       | Variables de antecedentes personales ..... | 75  |
| 7.1.4                                       | Variables Clínicas .....                   | 79  |
| 7.1.5                                       | Hallazgos del examen físico.....           | 81  |
| 7.1.6                                       | Niveles de metales pesados.....            | 84  |
| 7.2   | Análisis Bivariado.....                    | 86  |
| 8.  | DISCUSIÓN .....                            | 99  |
| 9.  | CONCLUSIONES .....                         | 108 |
|   | BIBLIOGRAFÍA .....                         | 109 |
| ANEXOS                                      |  |     |
| Anexo 1 Técnicas Analíticas                 |  |     |
| Anexo 2 Formato de Consentimiento Informado |  |     |
| Anexo 3 Formulario de Encuesta              |  |     |
| Anexo 4 Volante                             |  |     |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Niveles de Metales Pesados en agua del embalse del Muña .....  | 25  |
| Tabla 2. Niveles de Metales pesados en el aire de la Zona del embalse del muña .....  | 29  |
| Tabla 3. Valores de referencia de niveles de metales pesados en sangre y cabello utilizados en Colombia .....   | 31  |
| Tabla 4. Concentraciones típicas de algunos metales en efluentes industriales sin tratamiento .....   | 37  |
| Tabla 5. Distribución de la muestra de acuerdo a ubicación y rango de edad.....   | 60  |
| Tabla 6. Distribución porcentual del tipo de alimentos consumidos. Sibate 2007. ....  | 75  |
| Tabla 7. Distribución porcentual de síntomas neurológicos reportados por los individuos evaluados .....   | 80  |
| Tabla 8. Distribución porcentual de síntomas digestivos reportados por los individuos evaluados .....   | 81  |
| Tabla 9. Distribución de los diagnósticos más frecuentes por género y grupo de edad en los individuos evaluados .....   | 83  |
| Tabla 10. Resultados de los análisis de Cadmio en sangre de los habitantes de Sibaté .  | 84  |
| Tabla 11. Resultados de los análisis de Mercurio en sangre de los habitantes de Sibaté  | 85  |
| Tabla 12. Resultados de los análisis de Plomo en sangre de los habitantes de Sibaté ...   | 85  |
| Tabla 13. Comportamiento estadístico de los niveles de metales en sangre de los habitantes de Sibaté con valores superiores al límite de detección e inferiores al límite de referencia ..... | 86  |
| Tabla 14. Comportamiento de los promedios de niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés .....  | 87  |
| Tabla 15. Comportamiento de los promedios de niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés .....  | 91  |
| Tabla 16. Comportamiento de los promedios de niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés .....   | 95  |
| Tabla 17. Distribución de casos por rango de edad de acuerdo a los niveles de plomo en sangre propuestos por CDC .....  | 104 |

## LISTA DE GRAFICAS

|   |    |
|---|----|
| Gráfica 1. Estructura de la población de habitantes de Sibaté por sexo y grupos de edad. Censo 2005.....  | 21 |
| Gráfica 2. Tiempo de residencia de la población de habitantes de Sibaté en los últimos 5 años.....  | 21 |
| Gráfica 3. Niveles de plomo en sedimentos del embalse del muña 2004 - 2007 .....  | 27 |
| Gráfica 4. Niveles de plomo en agua, estación afluyente. Abril 2004 - Julio 2007 .....  | 28 |
| Gráfica 5. Niveles de plomo en agua, estación efluente. Abril 2004 - Julio 2007 .....   | 28 |
| Gráfica 6. Niveles de plomo en agua, estación Indumil. Abril 2004 - Julio 2007 .....  | 29 |
| Gráfica 7. Distribución por grupo de edad y género de los habitantes de Sibaté incluidos en el estudio.....                                     | 72 |
| Gráfica 8 Distribución porcentual por grupos etéreos de los habitantes del municipio de Sibaté. 2007 .....                                      | 73 |
| Gráfica 9 Distribución de acuerdo a la cercanía de la vivienda con el embalse. Sibaté 2007.....   | 74 |
| Gráfica 10. Distribución porcentual de frecuencias de consumo de frutas. Sibaté 2007..  | 76 |
| Gráfica 11. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de verduras. Sibate 2007 .....   | 77 |
| Gráfica 12. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de leche. Sibaté 2007 ....   | 77 |
| Gráfica 13. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de enlatados. Sibaté 2007 .....  | 78 |
| Gráfica 14. Distribución porcentual de frecuencia de consumo pescado. Sibaté 2007 ....  | 79 |
| Gráfica 15. Distribución de los Diagnósticos de la población evaluada según sistema afectado.....   | 82 |
| Gráfica 16. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad ..... | 88 |
| Gráfica 17. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con el género .....                     | 89 |



|  |    |
|--|----|
| Gráfica 18. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse .....                             | 89 |
| Gráfica 19. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté fumadores y su relación con el numero de cigarrillos que fuman .....       | 90 |
| Gráfica 20. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de verduras .....  | 90 |
| Gráfica 21. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad .....                    | 92 |
| Gráfica 22. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes géneros .....                           | 92 |
| Gráfica 23. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse .....                           | 93 |
| Gráfica 24. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de pescado ..... | 93 |
| Gráfica 25. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de leche .....   | 94 |
| Gráfica 26. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad .....                       | 96 |
| Gráfica 27. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse .....                              | 96 |
| Gráfica 28. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la localización de la vivienda .....                      | 97 |
| Gráfica 29. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la frecuencia de consumo de enlatados .....               | 97 |
| Gráfica 30. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de verduras .....   | 98 |

## LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. División Administrativa del Municipio de Sibaté .....  | 22 |
| Ilustración 2. Estaciones de monitoreo de la calidad de agua y sedimentos del embalse del muña.....                             | 26 |
| Ilustración 3. Categorías de Clasificación de las áreas del municipio de acuerdo a la relación de distancia con el embalse..... | 59 |

## RESUMEN

La cercanía del embalse del muña con el municipio de Sibaté ha generado en sus habitantes diversas inquietudes sobre el impacto que puede estar originando sobre su salud, la exposición indirecta a los diferentes agentes contaminantes contenidos en el cuerpo de agua, el contacto con los plaguicidas utilizados para el control de los zancudos y del Jacinto de agua (buchón) y las emanaciones provenientes del embalse. Para tener un panorama más claro acerca de esta situación, en el año 2007 el Ministerio de la Protección Social contrató con el Laboratorio de Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud, la realización de un estudio para determinar la presencia, en muestras biológicas tomadas a habitantes del municipio de Sibaté, de diferentes contaminantes presentes en las aguas del río Bogotá y del embalse del muña, como lo son metales pesados (Cd, Hg Pb), solventes (BTX) y plaguicidas (malatión, 2,4,D). La presente tesis de maestría se desarrolló dentro del respectivo estudio, haciendo énfasis específicamente en el tema de metales pesados.

Mercurio, plomo y cadmio son metales pesados que pueden llegar a afectar la salud cuando se presenta una exposición aguda o crónica a los mismos. Existen dos formas principales de exposición, ocupacional y ambiental. La exposición ocupacional se da en actividades en las cuales estos metales se utilizan como materia prima o hacen parte de los procesos en los que se utilizan como insumo, por ejemplo la fabricación de baterías, pinturas, revestimientos para cables, actividades de minería, fabricación de implementos militares, etc. La exposición ambiental se presenta a partir del consumo de agua y alimentos contaminados con metales, la inhalación de material particulado contaminado con metales, la ingestión accidental de pinturas contaminadas, el consumo de cigarrillo, el uso y manipulación de amalgamas entre otros. Por sus características toxicológicas y de conformidad con el tiempo y el tipo de exposición, pueden originar efectos agudos y crónicos, pudiéndose depositar en algunos órganos del cuerpo y permaneciendo por periodos prolongados, generando a largo plazo efectos negativos sobre el estado de salud.

Con el fin de evaluar el impacto a la salud de los habitantes del municipio de Sibaté, posiblemente relacionado con la contaminación por metales pesados presentes en el agua del embalse, se diseñó un estudio de corte transversal que buscaba comparar la información de condiciones demográficas y síntomas reportados por los pacientes, obtenidos a partir de una encuesta, con los datos de la medición de niveles en sangre de los metales en estudio y la información resultante de la valoración médica realizada a cada uno de los individuos evaluados.

El estudio se realizó con una muestra de 355 habitantes de la población de Sibaté, quienes se encontraban dentro de un rango de edad entre los 10 y 50 años, los hallazgos clínicos predominantes se relacionan con afecciones al tracto respiratorio superior, específicamente con una frecuencia mayor a la esperada para la población general, de alteraciones conjuntivales y de vía respiratoria superior. Para los niveles de metales en sangre, del total de las 355 muestras evaluadas, ninguna registró valores superiores a los establecidos como límite de referencia para exposición, de acuerdo a los valores adoptados por el Instituto Nacional de Salud. La información obtenida permite considerar que la presencia de metales pesados en el agua del embalse, no es una fuente de exposición crítica que esté originando un deterioro evidente en la salud de los sibateños, sin embargo, su presencia a dosis bajas no puede ser considerada como un aspecto sin importancia. Esta perspectiva hace necesario profundizar los estudios en la zona, dirigiéndolos fundamentalmente a la evaluación de otros aspectos que están impactando negativamente la salud de la población, como lo es la calidad del aire, especialmente alterada por las emanaciones gaseosas provenientes de la degradación de la materia orgánica en el cuerpo de agua, de modo que se cuente con información que permita ponderar el impacto que este tipo de condiciones genera sobre el ecosistema local y sobre la salud de los habitantes de la zona.

**Palabras clave:** Metales pesados, Contaminación, Sibaté, Muña

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el desarrollo agroindustrial que en las últimas décadas se ha presentado en la sabana de Bogotá han contribuido notablemente a incrementar la cantidad de residuos que son vertidos al río Bogotá como producto de las actividades humanas, los cuales han deteriorado notablemente la calidad de sus aguas. Diferentes parámetros de medición, son tenidos en cuenta para la evaluación de las condiciones de contaminación del recurso hídrico, dentro de los cuales se encuentran: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, ph, grasas y aceites, coliformes totales y metales pesados entre otros.

Estos parámetros han sido evaluados en aguas del río Bogotá por medio de estudios realizados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), encontrando alteraciones que permiten considerar que el río Bogotá cuenta con un elevado nivel de contaminación, especialmente en su cuenca media, la cual recibe todos los vertimientos provenientes de la capital <sup>1</sup>. Esta situación se convierte en un importante factor de riesgo para la salud de los habitantes de la rivera del río, quienes pueden verse expuestos a la contaminación de diferentes maneras, como lo son la inhalación de olores ofensivos derivados de la degradación de materia orgánica o el uso de aguas contaminadas para riego de cultivos cercanos, entre otros. Este aspecto merece una especial relevancia en el caso de contaminantes con un elevado potencial de persistencia como lo son los metales pesados.

Los diferentes metales pesados presentes en las aguas del río Bogotá provienen esencialmente de procesos industriales de diferente índole. Estos metales tienen diferentes propiedades físico - químicas que dificultan su proceso de biodegradación y les confieren una gran persistencia en las aguas y en los suelos, haciendo que cuando se encuentran en cantidades y concentraciones elevadas, se genere un incremento en el riesgo de afectar la salud de las diferentes especies de los ecosistemas, entre ellos el hombre.

De acuerdo a lo anterior, los habitantes del municipio de Sibaté, ubicado a 25 Km al sur oriente de la capital, y el cual colinda con el embalse del muña, se pueden considerar como una población en quienes la contaminación del río Bogotá se comporta como un factor de riesgo que puede afectar su salud. Esto se debe a que las aguas del mismo, una vez han transcurrido por la sabana de Bogotá y han recibido todos los vertimientos de la capital, se convierten, por bombeo artificial, en la principal fuente de provisión hídrica del embalse del muña.<sup>2</sup>

Esta cercanía del embalse con la cabecera municipal es la que hace que los habitantes del municipio y las zonas aledañas al embalse, se encuentren expuestos a la contaminación proveniente del cuerpo de agua, a los olores que emanan del mismo, y a los zancudos que reproducen en las matas de buchón que hay en la superficie del embalse. Estas situaciones han sido expresadas por los habitantes de Sibaté ante las autoridades ambientales y sanitarias, como factores que están afectando su salud.<sup>2</sup>

Es por esto que la motivación para la realización del presente trabajo provino por una parte, del interés por establecer si en realidad la salud de los habitantes de Sibaté se está viendo afectada por las condiciones de contaminación existentes en el embalse, y por otra parte, de las insistentes solicitudes de los habitantes del municipio de Sibaté ante diferentes entes gubernamentales del ámbito departamental (cuatro acciones populares interpuestas ante el Tribunal Administrativo de Cundinamarca) y nacional (Ministerio de la Protección Social), para esclarecer y solucionar el problema de contaminación ambiental y salud pública que de acuerdo a su percepción, está generando el embalse del muña sobre los pobladores del municipio, con el fin de buscar una solución que les permita continuar habitando la población sin que convivir junto al embalse se convierta en un factor de riesgo para su salud.

La presente tesis de maestría hace parte del macroproyecto *“Determinación de los niveles de cadmio, plomo, mercurio, de los metabolitos en orina de benceno, tolueno y xileno y los plaguicidas 2,4 D y malatión y su posible efecto sobre la salud de la población del municipio de Sibaté como consecuencia de la contaminación del embalse del muña”*, el cual fue desarrollado por el grupo de investigación en Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud, con recursos asignados por el Ministerio de la Protección Social, como

parte del abordaje de la problemática de salud de los habitantes del municipio de Sibaté, originada por la contaminación del embalse .

El desarrollo específico de esta tesis se centró en la determinación de los niveles en sangre de los metales pesados plomo, mercurio y cadmio y la evaluación de su relación con las condiciones de salud identificadas en los habitantes del municipio. El presente estudio se enmarca dentro de la línea de investigación de toxicología ambiental del Departamento de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia. La realización del mismo permitió aclarar aspectos desconocidos acerca del impacto real que origina la contaminación de las aguas del embalse del muña sobre la salud de los habitantes de la población de Sibaté.

## 1. ANTECEDENTES

El río Bogotá nace en el municipio de Villapinzón y tras un recorrido de 380 Km, desemboca en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot. Su recorrido está dividido en tres tramos: cuenca alta 170 km, cuenca media 90 km y cuenca baja 120 km. Desde su nacimiento, recibe la contaminación proveniente de las curtiembres artesanales del municipio de Villapinzón, las cuales arrojan sus desechos al río, y continúa recibiendo los vertimientos de diferentes municipios ubicados en la zona norte de la sabana de Bogotá entre los que se encuentran: Chocontá, Suesca, Sesquilé, Gachancipá, Tocancipá, Cajicá, Chia, Cota, Funza, Mosquera y Soacha; así mismo recibe los vertimientos provenientes de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, que hacen parte del sistema hídrico de la ciudad de Bogotá.

Al llegar al Distrito Capital, el río viene con cargas contaminantes de materia orgánica total y biodegradable, nutrientes y trazas de metales pesados, que ha recibido a partir de las descargas de diferentes sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales, así como de diferentes procesos productivos ubicados en cercanías al río y que vierten sus residuos en él. A pesar de que en algunos de los mismos es sometido a un proceso de tratamiento de sus aguas, estas conservan un remanente de contaminación, el cual es incrementado al llegar a la capital y recibir las descargas domiciliarias e industriales de los diferentes ríos capitalinos, haciendo que su paso por la ciudad lo convierta en un río altamente contaminado.

Su cuenca media, comprendida entre la estación hidrometeorológica la virgen, ubicada en cercanías del municipio de Cota, hasta las compuertas de Alicachín, ubicadas en inmediaciones del embalse del muña, es la que presenta la mayor modificación de las características de sus aguas. En la parte inicial de la misma, estas se usan para riego de pastos, cultivos y para actividades pecuarias. Más adelante, recibe los tres afluentes que transportan las aguas residuales provenientes del distrito capital (ríos Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo), haciendo que desde el punto conocido como el Cortijo hasta el salto de Tequendama, no se detecte Oxígeno Disuelto en las aguas del río.



De los tres ríos que recogen los vertimientos de Bogotá, el río Tunjuelo es el que más aporta contaminación por metales pesados, situación relacionada con la presencia de actividades industriales en su área de influencia. Las mediciones realizadas en tiempo seco han permitido identificar que los metales que han presentado los valores más elevados son cadmio, plomo y cromo. Otros metales identificados en el río Bogotá son: níquel, bario, cobre, manganeso y zinc<sup>1</sup>.

Dentro de los metales que se consideran variables fisicoquímicas de importancia en el recurso hídrico, se encuentran el arsénico, cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc. El decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura (artículos 40, 41,43) y el acuerdo 43 de la CAR, plantean unos límites permisibles para estas y otras sustancias, con el fin de determinar el posible uso del recurso hídrico (agrícola, pecuario, recreativo, contacto secundario), de acuerdo a la presencia de metales y otros parámetros de evaluación del agua.<sup>3-4</sup>

La contaminación bacteriológica presenta altos índices a lo largo de todo el río, lo cual pone en riesgo a la población de su área de influencia; así mismo, el 84 % de la carga orgánica de la cuenca media es aportada por el distrito capital, con aportes superiores a 150.000.000 toneladas /año<sup>5</sup>

El río abandona la ciudad por el área suroriental de la misma, y es bombeado al embalse del muña, el cual está ubicado a 15 Km de la ciudad, en cercanías al municipio de Sibaté. El agua represada del embalse permite la generación de energía en la hidroeléctrica de alicachin. Su bajo nivel de recirculación y la elevada contaminación favorece los procesos de eutroficación, lo cual contribuye a la rápida proliferación de plantas flotantes (Jacinto de agua o buchón) que en su momento, inicialmente fueron introducidas para el control de las emanaciones, pero las cuales, para el año 2006, llegaron a cubrir el espejo de agua, dificultando la aireación superficial y limitando el incremento en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, favoreciendo la presencia de insectos y malos olores que generan nuevos inconvenientes por la necesidad de utilizar plaguicidas para el control de los vectores y la vegetación, aportando otro factor de riesgo que puede afectar la salud de la población<sup>6</sup>.

Esta progresiva contaminación que desde la década de 1970 ha presentado el embalse del muña a causa de el bombeo de aguas del río Bogotá , motivó a que las autoridades y los habitantes de Sibaté solicitaran a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), intervenir en el caso y buscar soluciones para la situación de la contaminación; fue así como a finales de la década del 80 se plantearon las primeras mesas de trabajo para discusión del problema ambiental, a partir de las cuales surgieron varias iniciativas de intervención que luego, por medio resoluciones emitidas por la CAR fueron marcando el camino para la ejecución de diferentes actividades para el mejoramiento ambiental <sup>7</sup>.

La cercanía de la represa del muña con el municipio de Sibaté ha generado un impacto negativo sobre la salud y la calidad de vida de sus habitantes, debido a que constantemente están expuestos a las emanaciones gaseosas provenientes del embalse y a una gran cantidad de zancudos que han proliferado a causa de la presencia de vegetación en la superficie del embalse. Por otra parte, una importante proporción del agua utilizada para el riego de la vegetación y cultivos de la zona, proviene del propio embalse, lo cual genera contaminación indirecta en quienes consumen los productos cultivados en las áreas aledañas al embalse.

La problemática de las aguas del río Bogotá y el embalse del muña ha sido objeto de diversos estudios, entre ellos los realizados por la Universidad de los Andes, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Emgesa y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Varios de estos estudios han permitido identificar en las aguas del río y del embalse la presencia de diferentes metales pesados los cuales provienen del vertimiento a su cauce a partir de diferentes fuentes industriales. Un estudio de saneamiento ambiental del embalse del muña realizado en 1998 por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes y Emgesa, permitió identificar el comportamiento en el agua del embalse de diferentes parámetros de análisis dentro de los que se encontraban algunos metales como el cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo; así mismo diferentes parámetros del agua como DBO, DQO, pH, nitrógeno, fósforo y sólidos suspendidos. Las muestras fueron tomadas del agua del embalse, los sedimentos, el buchón y el agua de los afluentes del embalse, encontrándose niveles elevados de metales pesados en el agua y sedimentos de la zona norte del embalse.<sup>8</sup>

Además del problema de la contaminación por metales pesados, la presencia de material orgánico en descomposición genera emanaciones gaseosas desagradables, las cuales en algún momento se pensó controlar por medio de la introducción de buchón en el espejo de agua, sin embargo su proliferación fue tal que alcanzó a cubrir casi la totalidad del embalse, generando inconvenientes por el depósito en el fondo del embalse del buchón en descomposición y por la proliferación de zancudos, los cuales encontraron en el buchón un hábitat perfecto para su multiplicación. Esta situación complicó el panorama de los sibateños, debido a que se hizo necesario utilizar herbicidas que permitieran el control del buchón e insecticidas que evitaran la proliferación de zancudos. Posteriormente, y de acuerdo al uso de éstas estrategias, se encontró un problema importante asociado con la presencia en las aguas de residuos de plaguicidas utilizados para el control de plagas (zancudo – buchón) y los que por escorrentía, llegaban de los cultivos de flores cercanos. La situación con los solventes también es significativa ya que en la zona existen varias fábricas que vierten sus residuos contaminados con solventes, a aguas que finalmente llegan al embalse.

Además de lo anterior, es importante mencionar que en el área norte del embalse existe una zona industrial en la cual se localizan empresas cuyos procesos (manufactura de llantas, elaboración de tejas y productos de fibrocemento, siderurgia, productos químicos) pueden generar emisiones con un potencial de contaminación significativo. En esta zona se han realizado evaluaciones de la calidad del aire que han identificado niveles de plomo, mercurio y cadmio que si bien, no superan los límites propuestos por la OMS para estas sustancias en aire, se constituyen como un factor de riesgo epidemiológico por la coexistencia de otros factores presentes en el ambiente<sup>9</sup>.

Las emanaciones provenientes de la represa y el uso de plaguicidas para el control del crecimiento de la vegetación y los vectores, han generando un incremento en la morbilidad sentida de los habitantes de las zonas aledañas al embalse, especialmente la cabecera del municipio de Sibaté, ubicada en la zona sur del embalse. De acuerdo a lo reportado por los habitantes del municipio, dicha morbilidad se ha manifestado como incremento en la presencia de síntomas como tos, irritación de vías respiratorias y dolor de cabeza a causa de la exposición a las emanaciones provenientes de la represa, así como de alteraciones gastrointestinales derivadas del eventual consumo de agua

contaminada y otras alteraciones ocasionadas por las condiciones de contaminación de la zona, como lo es el uso de plaguicidas para el control de plantas y vectores.

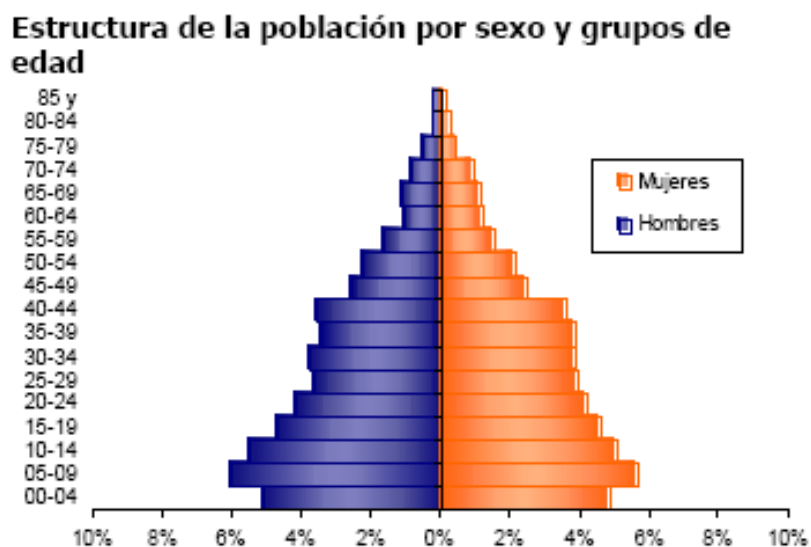
Aunque la mayoría de estudios realizados han sido de corte ambiental, en 1998 el Departamento de Medicina Preventiva de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, realizó un estudio integral que pretendía evaluar el impacto de la contaminación del embalse del muña sobre la salud humana. Dicho estudio identificó que el problema de contaminación era principalmente ocasionado por materia orgánica en descomposición así como por sustancias químicas de origen industrial, especialmente metales pesados (Arsénico, Plomo, Cadmio, Cromo, Mercurio) los cuales presentaban niveles elevados en el agua del embalse. En cuanto a los efectos sobre la salud humana, no se identificó un patrón anormal de condiciones de salud entre la población evaluada.<sup>10</sup> A pesar de los hallazgos reportados por dicho estudio, la comunidad continuó refiriendo un impacto significativo en su estado de salud a causa de la contaminación de la zona.

## **1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN Y LA ZONA DE ESTUDIO**

El municipio de Sibaté se encuentra ubicado a 27 kilómetros al sur de la ciudad de Bogotá, a una altura de 2660 msnm. Tiene un total de 31.166 habitantes, de los cuales el 67 % habita en la zona urbana. En la Gráfica 1 se presenta la distribución de la población por sexo y grupo de edad y en la Gráfica 2 el tiempo de residencia en los últimos cinco años previos al censo del 2005.<sup>11</sup>

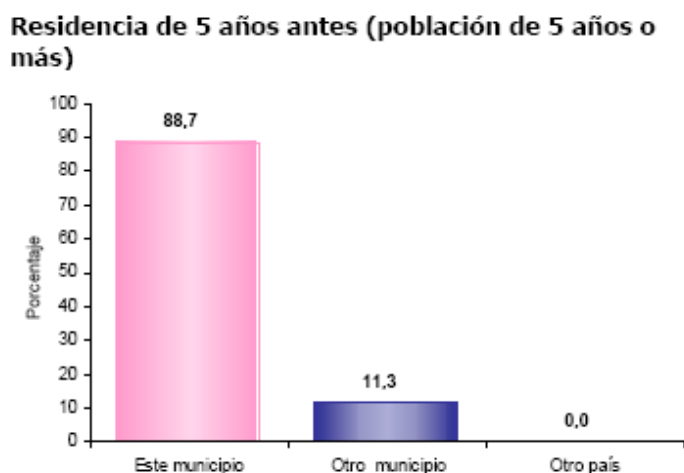
En el área urbana hay 14 barrios y a nivel rural cuenta con 14 veredas entre las cuales se encuentran: Chacua, San Eugenio, San Benito, Delicias, Usaba, Romeral, Bradamonte, El Peñón, San Miguel, San Rafael, San Fortunato, Perico, Altocharco y La Unión. En la Ilustración 1 se aprecia la ubicación de cada una de las veredas en relación a embalse del muña.

**Gráfica 1. Estructura de la población de habitantes de Sibaté por sexo y grupos de edad. Censo 2005**



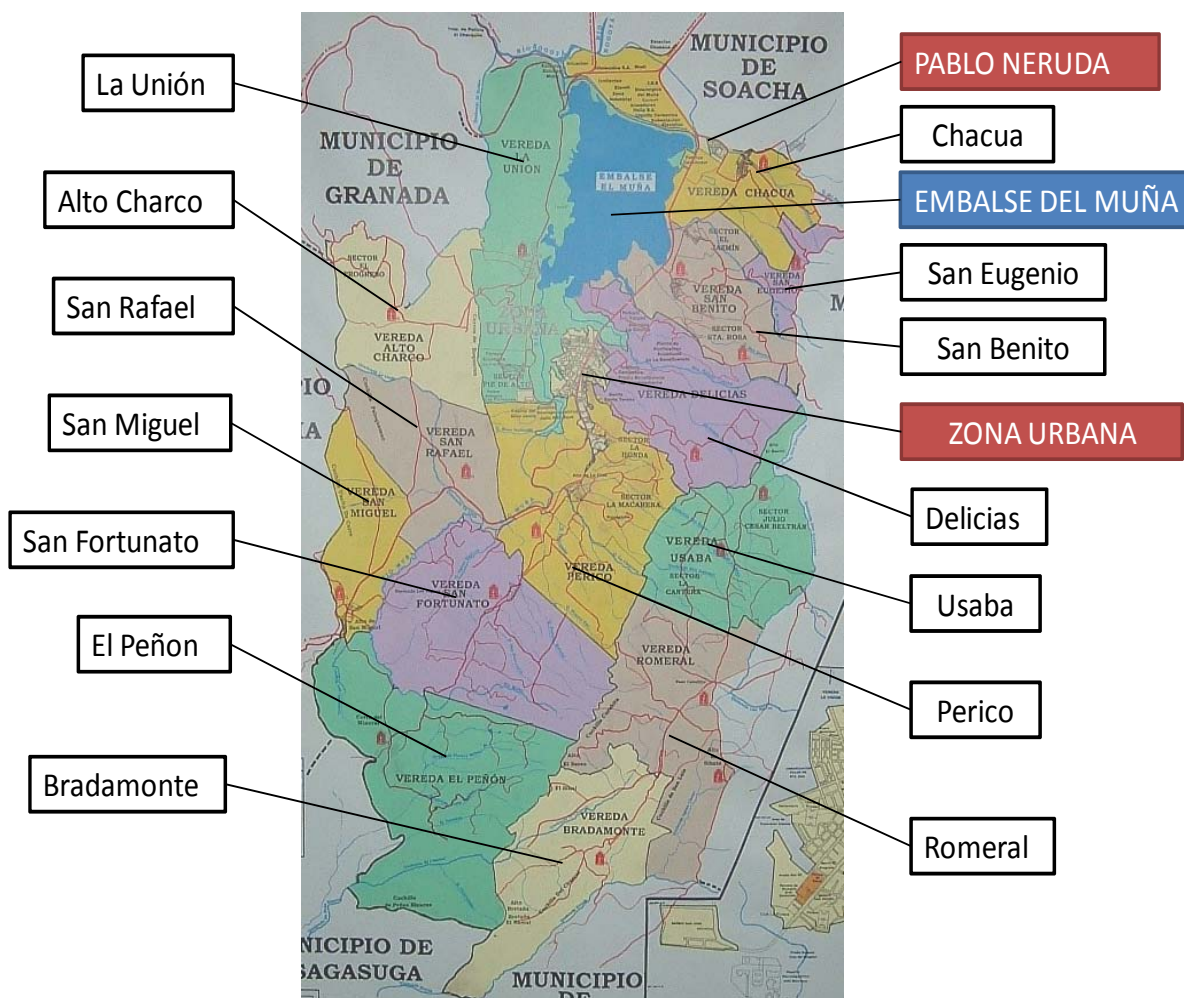
Fuente: DANE. Perfil Sibaté – Cundinamarca. Censo General 2005

**Gráfica 2. Tiempo de residencia de la población de habitantes de Sibaté en los últimos 5 años**



Fuente: DANE. Perfil Sibaté – Cundinamarca. Censo General 2005

**Ilustración 1. División Administrativa del Municipio de Sibaté**



Fuente: Alcaldía Sibaté. Adaptado por el autor. Octubre 2007

De acuerdo a las características geográficas y a las clases de los suelos de la zona, se realizan diferentes actividades como ganadería, cultivo de papa, arveja, fresa, trigo, cebada, hortalizas y frutales perennes; las zonas con pendiente elevada se usan para

pastos de corte. Los vientos soplan prioritariamente en dirección oeste durante todo el año. La temperatura promedio de la zona es aproximadamente 12°C. a 14°C

La provisión hídrica del municipio proviene en un 97 % de fuentes superficiales, constituidas por los ríos aguas claras, muña y quebrada honda, así como otras quebradas de menor caudal. El 3% restante corresponde a humedales, arroyos, pantanos y pozos perforados. Durante el desarrollo del diagnóstico para el plan básico de ordenamiento territorial se reportó la existencia de cerca de 95 aljibes en la zona urbana del municipio de Sibaté. En el asentamiento Pablo Neruda, el cual corresponde al 20% del total del área urbana, se obtiene suministro de agua a partir de la quebrada laureles, la cual no recibe ningún tipo de tratamiento.

En la zona norte del embalse se ubican varias industrias, dentro de las que figuran: Eternit, Stanton, Oxígenos de Colombia, Productos Químicos Panamericanos e Icollantas, entre otras, las cuales aportan una proporción significativa de efluentes y residuos que son vertidos al embalse o a la quebrada chacua, que desemboca al río Bogotá, pocos metros antes de su punto de bombeo al embalse. Las emanaciones ambientales son otro de los factores que favorecen la contaminación del aire local. Dentro de los principales productos emitidos al aire se encuentran CO<sub>2</sub>, dióxido de azufre y ácido sulfúrico.<sup>12</sup>

## **1.2 MONITOREO DE METALES PESADOS EN EL RIO BOGOTÁ**

Registros de la calidad del agua del río Bogotá de 1995 reportados por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), identificaron la presencia de metales pesados, especialmente cadmio, plomo, cromo y mercurio en el agua del río; un estudio realizado en la localidad de Bosa en 2000, detectó la presencia de trazas de mercurio, plomo y arsénico en aguas de riesgo y en muestras de hortalizas analizadas.<sup>5</sup> Estudios realizados por la Universidad Javeriana y la Empresa de Acueducto de Bogotá, también han arrojado resultados positivos para la presencia de diferentes metales pesados en el agua del río.<sup>13-14</sup>

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Sibaté se encuentra ubicado al suroccidente de Bogotá y en cercanías del mismo se encuentra el embalse de la muña, el cual fue construido hace aproximadamente 60 años, con el fin de disponer de capacidad de reserva hídrica suficiente para garantizar la generación de energía hidroeléctrica y suplir la creciente demanda energética de la época. Inicialmente, el embalse era alimentado por la quebrada Aguas Claras y el río Muña, sin embargo debido a la insuficiencia de caudal de los mismos para mantener niveles elevados, en la década del 50 se optó por el bombeo de aguas del río Bogotá hacia el embalse utilizando la estación de bombeo muña, ubicada en el sector de Alicachín (Soacha).

Desde su construcción y hasta inicios de la década de 1970, la calidad del agua del río Bogotá ( que a la fecha es la principal fuente del agua del embalse) permitía que el embalse fuese utilizado para actividades recreativas, convirtiéndose así en un polo turístico; sin embargo el rápido crecimiento poblacional y el desarrollo industrial y comercial de la capital y sus alrededores, generó un progresivo deterioro en la calidad del agua del río Bogotá, a causa del vertimiento a sus aguas de todo tipo de residuos sin tratamiento alguno, lo cual originó un marcado deterioro en la calidad del agua, con una drástica reducción de los niveles de oxígeno en la misma, con la consecuente desaparición en la cuenca media del río de toda especie mayor viva .

El delicado problema de contaminación del Río Bogotá terminó por afectar la calidad del agua del embalse, en el cual los diferentes tipos de contaminantes captados por el río desde su cuenca alta, (metales, solventes, grasas, aceites, materia orgánica, residuos de plaguicidas entre otros), generan diferentes impactos como la contaminación de los suelos por el uso del agua del embalse para riego de terrenos y cultivos cercanos al embalse, así como la producción continua de emanaciones gaseosas de mal olor por descomposición de materia orgánica, que afectan ostensiblemente la calidad del aire. Esta contaminación favorece en el embalse un proceso de eutroficación (enriquecimiento del medio acuático con nutrientes, ocasionando crecimiento excesivo de plantas acuáticas).



En la actualidad el agua que alimenta el embalse del muña sigue siendo bombeada del río Bogotá, lo cual hace que el embalse se constituya como un cuerpo de agua relativamente estancado y contaminado, entre otros, por sustancias como los metales pesados, aportados especialmente por los vertimientos de las curtiembres ubicadas en el municipio de Villapinzón y en la desembocadura del río Tunjuelo, los cuales tienen el potencial de depositarse en el lecho del embalse y contaminar por continuidad o dispersión, terrenos aledaños al embalse y fuentes de agua subterráneas.<sup>14</sup>

Mediciones de metales pesados en el cuerpo de agua, realizadas en la década pasada, <sup>10,15</sup> reportan niveles variables de los metales, de acuerdo a la profundidad y al punto de muestreo. Los niveles más elevados, especialmente para el plomo, se presentan en la zona cercana al punto de ingreso del agua al embalse. Los promedios de algunas de las mediciones realizadas en 1993 y 1997 se presentan en la Tabla 1, donde se aprecia que, si bien, los valores no superan los límites de referencia, muestran una tendencia estable, teniendo en cuenta que pueden incrementar, especialmente en los momentos en que se realizan descargas industriales al río y estas llegan al embalse.

**Tabla 1. Niveles de Metales Pesados en agua del embalse del Muña**

| Metal | Parámetro: Agua – Unidades ug/L |                 |   |                                       |                  |
|-------|---------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------|------------------|
|       | Medición 1993*                  | Medición 1997** | Valor referencia en agua potable EPA*** | Valores de referencia Nacionales **** |                  |
|       |                                 |                 |   | Consumo humano                        | Uso Agropecuario |
| Pb    | 30                              | 17              | 15                                      | 50                                    | 5000             |
| Cd    | 10                              | 7.3             | 5                                       | 10                                    | 10               |
| Hg    | 0                               | 0.39            | 2                                       | 2                                     | ND               |

Nota: Los valores presentados para las mediciones de 1993 y 1997 corresponden al promedio de las muestras tomadas en diferentes aéreas del embalse. (Club náutico, zona de cultivos, bocatoma)

\*Toro, I. Estudio Físicoquímico y biológico del embalse del muña. CAR. 1994

\*\*Departamento de Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia. Estudio de Morbimortalidad en el área de influencia del embalse del muña. 1997

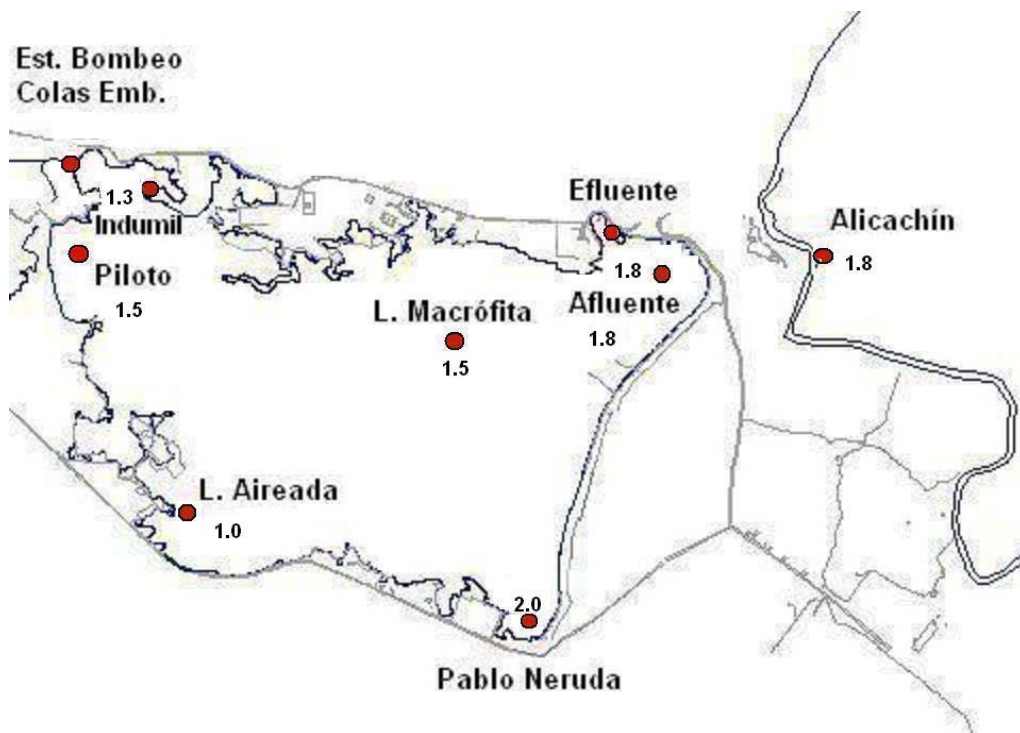
\*\*\*EPA. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos

\*\*\*\*Decreto 1594/84. Artículo 38 y 40. Ministerio de Agricultura

En la presente década, a raíz de las múltiples quejas de la comunidad y con el fin de monitorear permanentemente la calidad del agua del embalse, la empresa operadora del mismo, realiza el monitoreo periódico de diferentes parámetros del agua y sedimentos del embalse en siete diferentes puntos, dentro de los que se encuentran: estación afluente (lugar por donde ingresa el agua bombeada al embalse), estación efluente (lugar por el cual se descarga el agua al sistema hidroeléctrico), y las estaciones Pablo Neruda, laguna aireada, laguna macrofita, indumil y piloto<sup>16</sup>. Las mediciones se realizan a una profundidad promedio de 50 cms, encontrando diferencias importantes entre los diferentes puntos de muestreo, relacionadas con la dirección del flujo de movilidad de las aguas del embalse. La

Ilustración 2 presenta la localización de de las diferentes estaciones de monitoreo.

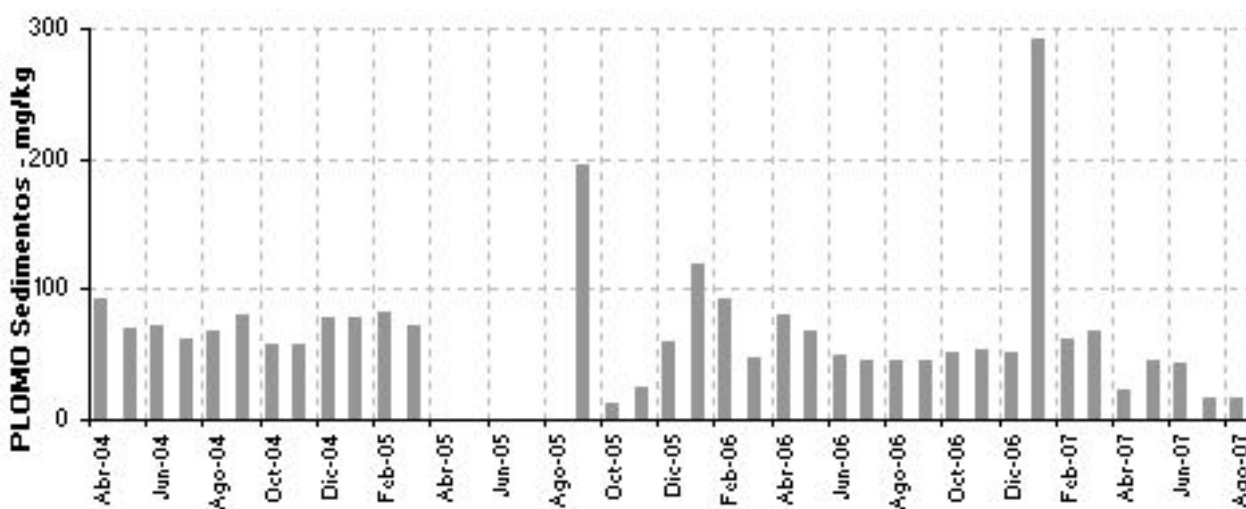
**Ilustración 2. Estaciones de monitoreo de la calidad de agua y sedimentos del embalse del muña**



Fuente: Plan de Seguimiento y Monitoreo Ambiental del Embalse del Muña. Emgesa. Agosto 2007

Con relación al plomo, que es uno de los metales que presenta niveles consistentemente elevados, se tiene un registro de los niveles del mismo en el sedimento y en diferentes puntos de muestreo. La Gráfica 3 presenta los niveles de plomo en sedimento del embalse del muña, encontrándose picos que se correlacionan con el incremento de los niveles en el agua y que corresponden al depósito del metal a causa de incrementos en las descargas aportadas al río Bogotá.

**Gráfica 3. Niveles de plomo en sedimentos del embalse del muña 2004 - 2007**

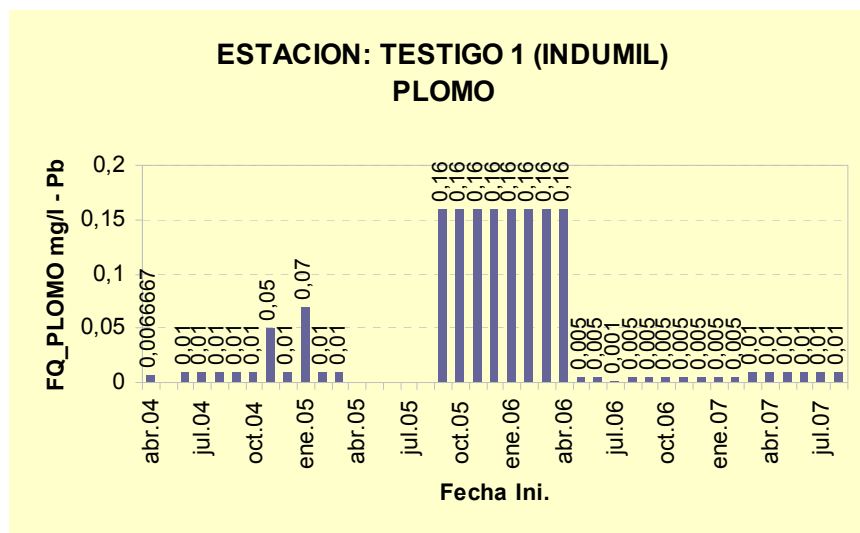


Fuente: Plan de Seguimiento y Monitoreo Ambiental del Embalse del Muña. Emgasa. Agosto 2007

En las gráficas 4, 5 y 6 se registran los niveles de plomo en agua en las diferentes estaciones de monitoreo para el periodo de Abril 2004 – Julio 2007. A partir del segundo trimestre de 2004 y hasta el tercer trimestre de 2005, existe una tendencia estable, con valores bajos, cercanos a los reportados en los estudios de la década pasada (10ug/l); sin embargo desde el tercer trimestre de 2005 hasta el primer trimestre de 2006, se aprecia un incremento sostenido y consistente en los diferentes puntos de medición, de los valores de plomo (160ug/l), los cuales superan los niveles de referencia y favorecen la acumulación del metal en los sedimentos del embalse, así como el riesgo de contaminación de productos agrícolas, en caso de su eventual uso para riego de cultivos.



**Gráfica 6. Niveles de plomo en agua, estación Indumil. Abril 2004 - Julio 2007**



Fuente: Plan de Seguimiento y Monitoreo Ambiental del Embalse del Muña. Emgesa. Agosto 2007

Con relación a los metales pesados y la calidad del aire de la zona, la principal fuente significativa de los mismos es el polo industrial, sin embargo, estudios realizados en la zona, muestran que los niveles de los mismos, no superan los valores de referencia. (Ver Tabla 2). Las descargas gaseosas de los productos de la degradación de la materia orgánica en el interior del embalse, son la principal causa de deterioro a la calidad del aire.

**Tabla 2. Niveles de Metales pesados en el aire de la Zona del embalse del muña**

| Metal | Parámetro: Aire* |        |                               |
|-------|------------------|--------|-------------------------------|
|       | ng/m3            | mg/d   | Valor referencia OMS (mg/día) |
| Pb    | 709.3            | 6.242  | 430                           |
| Cd    | 0.617            | 0.0054 | 71                            |
| Hg    | 1.285            | 0.0010 | 43                            |

\*Fuente: Universidad Nacional de Colombia.HAP y Metales en partículas de aéreas industriales y urbanas. Grupo Investigación contaminación atmosférica Nov. 2004

Con relación a los metales en el sedimento, los datos del monitoreo de los lodos del lecho del río en su trayecto inmediatamente posterior a su paso por la ciudad, han permitido documentar valores como 9 mg/kg de cadmio, 187 mg/kg de cromo, 133 mg/kg de plomo, 25 mg/kg de mercurio.<sup>2</sup>

Esta situación de deterioro ambiental es precisamente la que los habitantes de Sibaté, consideran como la principal causa por la cual desde hace varios años se está viendo afectada su salud, especialmente por alteraciones como infecciones respiratorias recurrentes, cefalea, alergias en la piel, diarrea y una percepción del incremento de muertes ocasionadas por cáncer. Dicho aspecto ha sido objeto de algunos estudios previos que han explorado el impacto en factores poblacionales a causa de la contaminación del embalse, encontrando prevalencias elevadas de diarrea y enfermedades infecciosas de tracto respiratorio superior, principalmente en la población infantil.<sup>17</sup>

La exposición a las condiciones insalubres originadas por la contaminación de las aguas del embalse, incrementa el riesgo de patologías infecciosas gastrointestinales y respiratorias, lo cual se correlaciona con la información aportada por el perfil epidemiológico de la provincia de Soacha, de la cual hace parte el municipio de Sibaté, en el cual se evidencia que la infección respiratoria, la dermatitis y la enfermedad diarreica aguda se encuentran entre las primeras causas de morbilidad, con porcentajes de 37.3%, 2.95% y 2.35%, respectivamente, mostrando un comportamiento diferente al del perfil epidemiológico de provincias cercanas como Sumapaz y Tequendama, en las cuales estas condiciones no se encuentran entre las primeras diez causas de morbilidad.<sup>18</sup>

El estudio “Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del muña sobre la salud humana”, realizado por el Departamento de Salud Pública de la Universidad Nacional en 1998, ha sido el de mayor relevancia en aspectos de salud, y ha sido el único estudio previo en considerar la problemática de los metales pesados y su posible influencia en la salud de la población. Dicho estudio contó con un componente ambiental que evaluó niveles de metales pesados en agua del embalse, vegetales, leche y otros

parámetros, encontrando niveles elevados de plomo, cadmio y arsénico en lechugas y espinacas cultivadas en cercanías del embalse.<sup>10</sup>

Por su parte, en su componente de salud, realizó mediciones comparativas de mercurio en cabello y plomo, arsénico y cadmio en sangre, en un grupo expuesto a la contaminación del embalse (n=82) y en un grupo de control sin exposición (n=18), usando los valores de referencia que se presentan en la Tabla 3.

Los resultados documentaron algunos niveles apreciablemente altos pero sin existencia de asociación entre los mismos y la residencia en cercanías del embalse. De todos modos, el hecho de no identificar la presencia de los metales, no permitió descartar a los metales pesados como una de las principales fuentes de contaminación ambiental de la zona, y recomendó la realización de nuevos estudios, debido al potencial riesgo de aparición de efectos a largo plazo tras la exposición crónica.

**Tabla 3. Valores de referencia de niveles de metales pesados en sangre y cabello utilizados en Colombia**

| <b>METAL</b>    | <b>VALOR REFERENCIA EN SANGRE</b>     |                      | <b>Fuente de Referencia</b>       |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <b>PLOMO</b>    | Población no expuesta                 | <0.038 mg/dL         | National Academy of Sciences- USA |
|                 | Población ocupacionalmente expuesta   | 0.039 – 0.066 mg/dL  |                                   |
|                 | Población expuesta                    | >0.038 - 0.067 mg/dL |                                   |
|                 | Absorción peligrosa                   | 0.067 – 0.076 mg/dL  |                                   |
|                 | Absorción compatible con intoxicación | >0.077 mg/dL         |                                   |
| <b>CADMIO</b>   | No Fumadores                          | <45 nmol/ L          | Centro de toxicología de Quebeq   |
|                 | Fumadores                             | < 90 nmol/L          |                                   |
| <b>MERCURIO</b> | <b>VALOR DE REFERENCIA EN CABELLO</b> |                      | OMS                               |
|                 |                                       | Hasta 5 ug/g         |                                   |

Fuente: Instituto Nacional de Salud

De acuerdo al análisis de la situación de salud del municipio de Sibaté (2006) la morbilidad del grupo de 1 a 4 años mostró una influencia significativa de las afecciones del tracto respiratorio. En el grupo de 5 a 14 años las enfermedades del tracto gastrointestinal, relacionadas con calidad de agua y alimentos, se comportaron como evento principal, seguida del compromiso del sistema respiratorio por condiciones infecciosas. La población de 15 a 44 años presentó como primera causa de consulta los traumatismos superficiales no especificados y el grupo de 45 a 59 años presentó como patología de mayor prevalencia la hipertensión arterial, al igual que el grupo de mayores de 60 años. El comportamiento general de la morbilidad general (exceptuando las causas traumáticas) para todas las edades y sexos, presenta como diez principales causas de consulta, patologías como: hipertensión arterial, infecciones de las vías urinarias, amigdalitis, vaginitis, cefalea, resfriado común, gastritis, parasitosis, gastroenteritis y dolor abdominal.

Con relación a la mortalidad, en los últimos cinco años se ha registrado una fluctuación de la tasa de mortalidad general, encontrando una discreta tendencia al alza, 2002 (5.9), 2003 (4.6), 2004 (4.50), 2005 (4.85), 2006 (5.12), la cual se considera relacionada con enfermedades isquémicas del corazón, tumores de cualquier localización y enfermedades respiratorias.<sup>19</sup>

Además de los efectos para la salud, el deterioro de la calidad del agua del embalse, influye directamente sobre una de las actividades principales de Sibaté, como lo es la agropecuaria, favoreciendo que las aguas del embalse, utilizadas como fuente de riego para los cultivos, puedan contaminar los alimentos y terrenos cultivados en cercanías del embalse, así como las fuentes de aguas subterráneas, convirtiéndose en una fuente de exposición a metales pesados.

La evidente contaminación de la zona, asociada a los impactos a la salud referidos por los habitantes, hace necesario tener mayor claridad de las condiciones de exposición y del impacto que los metales pesados presentes en el embalse, realmente están ejerciendo sobre la salud de los trabajadores, por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación:



**¿Qué niveles en sangre de cadmio, mercurio y plomo, y que prevalencia de signos y síntomas asociados a la intoxicación con dichas sustancias, presentan los habitantes del municipio de Sibaté?**

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta que la contaminación ambiental por metales pesados se ha asociado a efectos negativos a la salud por exposición crónica a este tipo de sustancias, se hace necesario conocer el panorama que frente a esta situación se está presentando en el municipio de Sibaté, con el fin de establecer el posible impacto a la salud derivado de la contaminación del embalse, y plantear medidas de intervención que permitan reducir la exposición y mejorar las condiciones de salud de los habitantes del municipio. Esta información va a permitir ofrecer una respuesta a las constantes solicitudes elevadas por la población del municipio de Sibaté a las autoridades ambientales y sanitarias del Departamento de Cundinamarca para estudiar los supuestos efectos que sobre la salud está generando la contaminación del embalse; así mismo va a contribuir con el aporte de información sobre el real impacto que sobre la salud, están generando los principales contaminantes presentes en el agua del embalse del muña de modo que se pueda orientar la toma de decisiones en relación a las medidas que se deben acatar para preservar la salud de la población afectada y frente a las políticas que en materia ambiental, debe asumir el gobierno para mejorar la actual situación.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 GENERALIDADES DE METALES PESADOS

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos de la serie de transición de la tabla periódica que tienen una densidad superior a  $6\text{gr/cm}^3$  y un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg). De acuerdo a su interrelación con los seres vivos, se distinguen dos grupos dentro de los metales pesados. Un grupo de *oligoelementos o micronutrientes* que se requieren en pequeñas cantidades para el funcionamiento de sistemas enzimáticos, dentro de los que se encuentran el Cobre, Hierro, Selenio y Zinc, entre otros, que a su vez pueden ser tóxicos si se incrementa la concentración a la cual se exponen los organismos. El otro grupo son los *metales pesados sin función biológica conocida*, los cuales pueden originar efectos tóxicos a partir de determinadas concentraciones; este grupo tiene la propiedad de ser persistentes en el ambiente y bioacumularse, haciendo que su concentración en un organismo vivo, tienda con el tiempo, a superar la concentración del elemento en el ambiente; en este grupo se encuentran el Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio y Talio. El potencial de toxicidad de estos últimos depende de su capacidad de combinarse con diferentes tipos de moléculas, especialmente las que cuentan en su estructura con grupos sulfhidrilos. Es importante aclarar que aunque los términos metales pesados y metales tóxicos se utilicen como sinónimos, solo algunos de los metales pesados son tóxicos<sup>20</sup>.

De acuerdo a su especie química (forma específica de un elemento definida por su composición isotópica, su estado electrónico o de oxidación y/o su estructura compleja o molecular) y su interrelación con el ambiente, los metales pesados pueden presentar diferentes rutas de movilidad a nivel ambiental. En el suelo, de acuerdo a las características del mismo, pueden quedar retenidos, ya sea por fijación por procesos de adsorción y precipitación, o disueltos en la solución del mismo; pueden ser absorbidos por plantas y de esa manera incorporarse a las cadenas tróficas. A nivel aéreo pueden ingresar a la atmósfera por fenómeno de volatilización y por último, pueden moverse hacia aguas superficiales o subterráneas, especialmente provenientes de suelos en los cuales el efecto de los ácidos facilita la liberación y migración de los metales. La principal

forma por la cual los metales pesados entran en contacto con el ser humano es por el consumo de agua o alimentos contaminados. De acuerdo a las características del metal, también puede presentarse exposición por vía aérea.<sup>21 - 22</sup>

#### **4.1.1 Contaminación acuática con metales pesados**

La contaminación de cuerpos de agua, y los problemas ambiental y de salud derivados de la misma, son una situación que se presenta usualmente en ríos cercanos a urbes de países en vía de desarrollo que no efectúan un adecuado tratamiento de los residuos.

En Karachi (Pakistán), el río Lyari atraviesa la ciudad recibiendo toda clase de aguas residuales y efluentes sin tratar, que luego son vertidas al río Indo y por último al mar arábigo; en Alejandría (Egipto), los desechos líquidos industriales y domésticos sin tratar son vertidos al mar y al lago Maryut, lo cual ha reducido notablemente la producción pesquera en el lago y en la costa marina; en Shanghái (China), se vierten los residuos industriales y domésticos al río Huangpu, con el agravante de que en la región el nivel freático es alto, favoreciendo que las toxinas lleguen fácilmente a los ríos locales y contaminen los pozos con los que se abastece de agua la ciudad; y en Sao Pulo (Brasil), el río Tiete recibe gran cantidad de contaminantes como plomo y cadmio, provenientes de las industrias locales, teniendo solamente la posibilidad de ser tratado en un 12%, antes de continuar el trayecto por su cuenca.

La contaminación acuática originada por metales pesados proviene de diferentes fuentes como el desgaste geológico (debido a que los metales son un componente natural de la corteza terrestre), la actividad de explotación minera, el uso de metales y compuestos de metales para determinados procesos industriales y la lixiviación de metales pesados a partir de residuos domésticos y vertidos de residuos sólidos<sup>23</sup>.

Existe una serie de factores de importancia que influyen en la acumulación y disponibilidad de los metales pesados, dentro de los que se encuentran el *pH*, el cual es importante debido a que la mayoría de metales tienden a ser más disponibles a pH ácido, lo cual hace que la solubilidad y la adsorción de los metales estén condicionadas por este parámetro; la *dureza del agua* es otro factor, ya que cuando esta última es elevada (por

efecto de cationes como calcio y magnesio), se reduce la toxicidad por formación de carbonatos insolubles y posterior adsorción de los metales al carbonato, generando una baja biodisponibilidad que favorece la migración con mayor facilidad, o formando complejos muy estables con la materia orgánica del suelo (organometálicos) que facilitan su solubilidad, disponibilidad y dispersión, potenciando su toxicidad.<sup>24</sup> En la Tabla 4 se presentan los valores promedio de efluentes industriales presentes en aguas sin tratamiento.

**Tabla 4. Concentraciones típicas de algunos metales en efluentes industriales sin tratamiento**

| <b>Metal</b> | <b>Concentración (mg/l)</b> |
|--------------|-----------------------------|
| Cobre        | 500-950                     |
| Plomo        | 100 – 250                   |
| Níquel       | 50 – 350                    |
| Oro          | 10 – 50                     |
| Plata        | 20 – 100                    |

Fuente: López S., Ayala L. *Contaminación y Depuración de Suelos*. Madrid 1995.

Teniendo en cuenta que el monitoreo biológico es una estrategia útil para evaluar la exposición a contaminantes químicos del ambiente, y que permite documentar una relación causa efecto en situaciones en las cuales se presenta una sospecha de exposición y unos efectos clínicos específicos, su utilización para la evaluación de metales pesados, permite obtener información relacionada con los niveles de exposición de la población, y de acuerdo a los resultados, plantear intervenciones preventivas o terapéuticas que favorezcan la salud de la población.<sup>25</sup>

## **4.2 PLOMO**

El plomo es un metal pesado que se ha utilizado desde hace más de 5000 años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. Existen muchos tipos de compuestos de plomo que de acuerdo a sus características, se

emplean en diferentes aplicaciones como materiales de construcción, pigmentos para cerámicas vidriadas, tubos de suministro de agua, municiones, pinturas, películas protectoras, manufactura de baterías acidas, aditivo de gasolina, cosméticos, espermicidas y preservativo de vinos por su propiedad de detener la fermentación. La amplitud de su uso favorece que los humanos se expongan al plomo y sus derivados por los alimentos el agua y la inhalación.<sup>26</sup>

#### **4.2.1 Comportamiento en matrices ambientales**

Cuando el plomo es liberado al aire (antiguamente por el uso de gasolina con plomo), puede ser transportado largas distancias para luego caer al suelo y depositarse en el mismo, luego e acuerdo a condiciones como la lluvia puede ser arrastrado hacia aguas superficiales, acumularse en los sedimentos o ser absorbido por las plantas e introducirse en la cadena alimentaria. Aunque el plomo elemental no se disuelve en agua, sus formas orgánicas si lo hacen, haciendo que el plomo proveniente de minería y el plomo residual, proveniente de calles, tuberías y suelos, puedan llegar a contaminar el agua que posteriormente sea utilizada para consumo humano o irrigación de terrenos.<sup>27</sup>

#### **4.2.2 Vías de exposición**

La población general se encuentra expuesta a plomo principalmente por los alimentos y por fuentes ambientales como pinturas a base de plomo utilizadas en viviendas antiguas, agua potable contaminada con plomo, aire de emisiones industriales contaminadas con plomo y uso de elementos de cerámica elaborada con plomo. La población ocupacional que utiliza este metal en sus procesos, tiene una exposición mayor. Dentro de las actividades con alto riesgo de exposición ocupacional a plomo se encuentran, el reciclaje y fabricación de baterías, la manufactura de pigmentos para pinturas y la fundición de tipos de imprenta entre otros. El plomo también es usado en colorantes para base de pintura y barnices, como acetato de Plomo en la industria cosmética, como antidetonante en gasolinas (Plomo tetra etilo), como Arseniato en Insecticidas agrícolas y como carbonato en el estudio de huellas dactilares<sup>28</sup>.

La toxicidad derivada de la exposición al plomo, afecta varios órganos dentro de los que se incluyen el sistema nervioso, hematopoyético, renal, endocrino y musculo esquelético;

aunque el daño depende de la edad de la persona y la magnitud de la exposición, el efecto con mayor impacto es la alteración en el desarrollo cognitivo y comportamental que se presenta en niños jóvenes a nivel de la población general. En los adultos con exposición ocupacional a plomo, se presenta una alteración en las funciones cognitivas que se manifiesta inicialmente como un deterioro en la ejecución de pruebas neuropsicologías y posteriormente, como efecto crónico, un deterioro cognitivo, relacionado directamente con la dosis de exposición.<sup>20</sup>

En los niños, los efectos mesurables se pueden presentar con valores de 10 a 15 ug/dl, usualmente provenientes de exposiciones de bajo nivel a partir de fuentes ambientales entre las que se encuentran el contacto con pintura a base de plomo, el polvo de casa y la dieta, especialmente enlatados, aunque actualmente la eliminación de la soldadura de plomo en las latas de alimentos ha contribuido a la disminución de la exposición por enlatados, así mismo la remoción del plomo de la gasolina ha contribuido a la disminución del polvo con plomo. Las deficiencias nutricionales de metales esenciales pueden incrementar el riesgo de exposición a plomo, favoreciendo la absorción y toxicidad del plomo en la dieta.<sup>29</sup>

#### **4.2.3 Toxicocinética**

El plomo es absorbido por inhalación, por ingestión y a través de piel. En la inhalación del plomo ambiental, un 35% del total de plomo inhalado, sea orgánico e inorgánico, se deposita en las vías aéreas y se absorbe parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas que llegan hasta los alvéolos, son absorbidas y aproximadamente un 35 a 50% del plomo que alcanza el tracto respiratorio inferior, pasa al torrente sanguíneo. La absorción gastrointestinal en adultos representa menos del 10% del plomo ingerido. La absorción cutánea sólo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos del plomo. El plomo absorbido es transportado por la sangre en donde establece un rápido equilibrio entre eritrocitos y plasma, distribuyéndose en diversos órganos y tejidos y depositándose principalmente en los huesos<sup>28</sup>.

#### 4.2.4 Mecanismo de acción toxica

El mecanismo tóxico del plomo esta dado por la competición por los sitios de inserción de los metales esenciales especialmente el calcio y el zinc; tiene afinidad por los grupos sulfhidrilos de las proteínas, lo que significa que tiene el potencial de alterar la forma y función de las mismas así como interferir en el transporte de iones esenciales.<sup>28</sup> El plomo afecta la fosforilación oxidativa y la síntesis de ATP a nivel de la mitocondria, así mismo incrementa la fragilidad de las células rojas e inhibe la Sodio-Potasio ATPasa. El plomo genera una anemia que se debe al acortamiento de la vida de los eritrocitos y a una alteración en la síntesis del grupo hem. Esto se presenta porque la deshidratasa del acido delta aminolevulínico es inhibida, disminuye la cantidad de coproporfirinógeno oxidada y disminuye la actividad de la ferroquelatasa. La ferroquelatasa se encarga de incorporar el ion ferroso en la estructura anular de la porfirina, pero por la disminución de su actividad se disminuye la formación del hem. El aumento en la producción del acido delta aminolevulínico y la disminución de la actividad de la ALAD incrementa la concentración sanguínea y por ende la eliminación del acido aminolevulínico.<sup>31</sup>

Los efectos neurotóxicos derivados de la exposición a plomo se originan por afectación de los sistemas aminérgicos a nivel de corteza cerebral, cerebelo e hipocampo y se manifiestan como déficit cognoscitivo y comportamental, sin embargo los procesos celulares que ocasionan la neurotoxicidad no han sido claramente identificados. Se sabe que el estrés oxidativo juega un papel primario en la neurotoxicidad atribuida al plomo. Hallazgos recientes han permitido identificar que las proteínas dependientes del calcio y los receptores de neurotransmisores, son blancos del plomo, así mismo, se han identificado alteraciones en la transcripción de los genes que son esenciales para el crecimiento y la diferenciación, como efecto directo de la exposición a plomo. La exposición en niños, inclusive a dosis bajas, puede originar daños cerebrales y déficits cognitivos; este efecto neurotóxico puede presentarse posterior a una exposición prenatal o posnatal. De acuerdo a lo anterior y con el fin de prevenir la toxicidad en niños y mujeres embarazadas, se ha sugerido el uso de suplementos de calcio, debido a que la interacción plomo calcio puede tener un efecto protector para el desencadenamiento de neuropatía periférica.<sup>32</sup>



#### **4.2.5 Manifestaciones Clínicas de la Intoxicación con Plomo**

La presentación clínica de la intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad del paciente y a la severidad de la exposición, encontrándose que los casos de mayor severidad corresponden a la manifestación última de una exposición prolongada a plomo.

En los niños la presentación más severa de la intoxicación con plomo es la encefalopatía aguda por plomo, la cual se caracteriza por presencia de vomito, apatía, comportamiento extraño, pérdida de capacidades ya desarrolladas, ataxia, incoordinación, convulsiones, alteraciones sensitivas y otras alteraciones derivadas del incremento en la presión intracraneana; asociado a lo anterior puede presentarse marcada palidez derivada de la anemia que puede producirse por la exposición crónica. Este cuadro clínico se presenta cuando los niveles sanguíneos de plomo superan los 100 ug/dL, especialmente en pacientes de 1 a 3 años. Los cuadros subagudos se presentan con niveles superiores a 70 ug/dL y cursan con síntomas inespecíficos.<sup>30</sup>

Los casos en los cuales no se presentan síntomas, a pesar de contar con niveles elevados de plomo, corresponden a la mayoría de la población infantil con riesgo de toxicidad crónica por plomo. Los síntomas pueden corresponder a sutiles efectos en el crecimiento, la audición y el desarrollo neurocognitivo, los cuales han sido corroborados por estudios que correlacionan el nivel de plomo en sangre con el coeficiente intelectual (IQ) de niños entre 3 y 5 años, encontrando disminuciones en el IQ a medida que incrementa el nivel de plomo en sangre, especialmente por encima de valores de 10 ug/dL.<sup>33</sup>

En los adultos la exposición ocupacional por vía inhalatoria es la principal fuente de contacto con el plomo y la severidad de los síntomas va a depender de los niveles en sangre. Los cuadros agudos pueden corresponder a exposiciones severas, menores a un año en las cuales los síntomas aparecen y se agudizan en un periodo promedio de 6 semanas, caracterizándose por cólico, hepatitis, pancreatitis, anemia hemolítica y encefalopatía, la cual aparece cuando los niveles superan los 150 ug/dL y se manifiesta como convulsiones, obnubilación, alteraciones motoras focales, papiledema, cefalea y

neuritis óptica. Estos niveles se asocian con un elevado riesgo de parálisis neurológica periférica y nefropatía.<sup>34, 35</sup>

En los casos de intoxicación moderada con niveles mayores a 80 ug/dL se presentan síntomas neurológicos como cefalea, alteraciones de memoria, insomnio, disminución de la libido, neuropatía motora periférica caracterizada por cansancio y adormecimiento de los miembros inferiores, parestesias e hiperreflexia. Se presentan también síntomas gastrointestinales como sabor metálico, dolor abdominal, disminución de apetito, pérdida de peso y constipación.<sup>30</sup>

En los casos leves inicialmente se presentan signos y síntomas inespecíficos como decaimiento, fatiga, palidez y dolores articulares. A nivel ocupacional se cuenta con suficiente evidencia científica que ha permitido asociar la exposición crónica a dosis elevadas de plomo con el desarrollo de múltiples alteraciones cardiovasculares, específicamente hipertensión arterial; no se cuenta con la misma evidencia para las exposiciones de origen ambiental;<sup>36</sup> sin embargo si se dispone de evidencia que relaciona la exposición ambiental a bajas dosis de plomo con la progresión acelerada de la insuficiencia renal en pacientes sin diabetes que tienen enfermedad renal crónica.<sup>37</sup>

#### **4.2.6 Diagnóstico y tratamiento de casos de intoxicación por plomo**

El diagnóstico de intoxicación se realiza correlacionando los niveles en sangre con la sintomatología identificada. Teniendo en cuenta que la vida media del plomo en la sangre es 28 a 36 días, los niveles sanguíneos reflejan exposiciones relativamente recientes; sin embargo como el plomo circula entre la sangre y el hueso, una sola muestra no permite definir una exposición de bajo nivel.<sup>38</sup>

Una vez se han identificado niveles sugestivos de exposición a plomo, la primera medida terapéutica es retirar al paciente de la exposición, para lo cual se debe identificar la fuente de exposición y plantear intervenciones específicas. En caso de tratarse de exposición ocupacional se debe evaluar que cambios hay que realizar en el ambiente laboral. En el caso de los niños la reducción de la exposición se logra realizando un adecuado control

del polvo, especialmente de los juguetes, evitando almacenar alimentos en latas abiertas, optimizando la nutrición con suplementos de hierro y calcio para reducir la absorción de plomo.<sup>39</sup>

Posteriormente, de acuerdo a los niveles presentes, la edad del paciente y la sintomatología se debe iniciar el manejo con terapia quelante, cuyo objetivo es permitir que el plomo forme un complejo con el medicamento quelante y pueda ser eliminado por la orina o la materia fecal. El tratamiento quelante incrementa la eliminación de plomo, reduce los niveles sanguíneos y revierte los marcadores hematológicos de toxicidad. Existen tres opciones de tratamiento con fármacos quelantes: BAL, EDTA, utilizados por vía endovenosa para los casos de mayor severidad y Succimer por vía oral. La D-penicilamina era otra opción terapéutica usada por vía oral, sin embargo sus efectos adversos a nivel hematológico, renal y dermatológico contribuyeron a discontinuar su uso.<sup>30 - 40</sup>

El manejo en adultos está indicado en caso de presentarse sintomatología significativa (encefalopatía, cólico abdominal, artralgias y mialgias) o evidencia de daño en órgano blanco (neuropatía o nefropatía), o trabajadores asintomáticos con niveles elevados.<sup>41</sup>

En niños se debe ser más estricto, teniendo como referencia los niveles en sangre, encontrando que con valores superiores a 10 ug/dl ya se deben iniciar actividades específicas para reducir la exposición<sup>42</sup>.

#### **4.2.7 Monitoreo Biológico**

En cuanto al monitoreo biológico, existen dos tipos de biomarcadores los indicadores de dosis interna como el plomo en sangre, orina, heces y los indicadores de efecto como la ALAD (Acido deltaaminolevulinico), la ZPP (Zinc protoporfirina), las coproporfirinas y la hemoglobina entre otros. La concentración de plomo en sangre es el indicador más apropiado para utilizarse en las evaluaciones de exposición al plomo, tanto en la población laboral como en la población general. Es un indicador del equilibrio entre la cantidad del metal que es absorbida, la que está siendo transportada por la sangre y la que se deposita en el organismo. La desventaja es que es una prueba costosa, que no puede utilizarse como prueba tamiz para evaluar grandes grupos de población. En estos casos se utilizan

los indicadores de efecto y entre estos la determinación de ZPP en sangre, ya que es un indicador precoz de intoxicación y permite ser usado en la vigilancia médica de trabajadores regularmente expuestos a plomo por ser un método analítico sencillo y de bajo costo <sup>43</sup>.

### **4.3 MERCURIO**

El mercurio es un metal pesado que en su estado elemental se encuentra como mercurio metálico, siendo el único elemento metálico que es líquido a temperatura ambiente.

Los compuestos de mercurio se pueden clasificar en dos grandes grupos: los inorgánicos, que incluyen el mercurio metálico y sus vapores, el ión mercúrico y sus sales y el ión mercurioso y sus sales; por otra parte los compuestos orgánicos están constituidos por los arilmercuriales (fenilmercurio), alquilmercuriales (etilmercurio y metilmercurio) y alcoxilalquilmercuriales. El mercurio se utiliza en diferentes instrumentos de medición como termómetros, termostatos, barómetros, manómetros, en amalgamas dentales, equipos eléctricos, luces de neón, componente de reactivos para análisis de laboratorio, en algunos plaguicidas y en la minería del oro para el proceso de amalgamación<sup>26</sup>.

A nivel de la corteza terrestre el mercurio se encuentra en una proporción aproximada de 0.02 ppm, en el agua dulce se encuentra a razón de 0.1 ug/L y en el agua de mar 0.03 ug/L, en el aire puede encontrarse en un rango de 0.005 a 0.06 ng/m<sup>3</sup>. Estas concentraciones no constituyen una fuente significativa de exposición para la población general <sup>44</sup>.

El mercurio ambiental proviene de emisiones naturales originadas por los volcanes, de la evaporación a partir de la corteza terrestre y el océano, y de su presencia como constituyente primario de las rocas; también se deriva de diferentes actividades antrópicas, especialmente procesos industriales, minería del oro y uso de combustibles fósiles. Se ha estimado que la producción volcánica de mercurio al ambiente varía entre 20 a 90 toneladas por año, siendo esta cantidad inferior al 3 % de las emisiones derivadas del uso del mercurio en actividades antrópicas. Cualquier fuente de mercurio al ambiente implica un elevado riesgo para la salud humana, especialmente la acumulación de

compuestos de mercurio inorgánico en el ecosistema acuático ya que pueden darse las condiciones propicias para la metilación del mercurio inorgánico, el cual ingresa a la cadena alimenticia al ser ingerido y bioacumulado en los peces, incrementando el riesgo de toxicidad humana por consumo de pescado contaminado<sup>45</sup>.

#### **4.3.1 Comportamiento en matrices ambientales**

Al ingresar al agua, el mercurio metálico se combina con las partículas sólidas, se deposita en el fondo y se acumula en los sedimentos del lecho, su movilidad es baja y varía de acuerdo a la presencia de corrientes de agua. El mercurio no sufre ninguna transformación si el ambiente acuático es de tipo oxidante, sin embargo, la presencia de condiciones que favorezcan la metilación (presencia de materia orgánica, microorganismos del sedimento corrientes de baja energía) permiten su transformación en metilmercurio, el cual es bioacumulado por las algas y el fitoplancton que posteriormente son ingeridos por los peces, en los cuales se bioconcentra, llegando finalmente a ser consumidos por el hombre, incrementando el riesgo de toxicidad por metilmercurio.

En el aire, el vapor del mercurio elemental ( $Hg^0$ ) puede permanecer un tiempo variable de días a años, dependiendo de la presencia de condiciones que favorezcan la oxidación, como lo es la presencia de ozono, luz solar y presencia de vapor de agua; una vez es oxidado a  $Hg^{+2}$ , el mercurio es removido de la atmósfera y cae con la lluvia.

En el suelo, el mercurio se acumula y se integra fácilmente en suelos de características húmicas a causa de la escasa movilidad y transporte en este medio. La movilidad del mercurio a nivel del suelo superficial depende de la afinidad de la forma bivalente con la materia orgánica. Su baja movilidad en la matriz suelo facilita el monitoreo de este compartimiento ambiental.<sup>46</sup>

#### **4.3.2 Vías de exposición**

El mercurio puede ingresar al organismo por inhalación, ingestión o por vía dérmica. Para los compuestos inorgánicos y para el mercurio elemental la principal vía de absorción es la

inhalatoria. Del total que ingresa en el organismo por esta vía el 80% se absorbe debido a su gran volatilidad y solubilidad en tejido graso. Por ingestión los compuestos inorgánicos tienen poca absorción, al contrario de los compuestos orgánicos cuya absorción es completa. A través de la piel, el mercurio puede ingresar cuando existe la presencia de alguna excoriación o solución de continuidad; sin embargo el ingreso por la piel intacta es difícil. Los compuestos orgánicos también tienen buena absorción por vía inhalatoria y a nivel de tracto gastrointestinal, teniendo en cuenta que su absorción por esta vía puede ser variable.<sup>46</sup>

#### **4.3.3 Toxicocinética**

La cinética de la toxicidad inducida por el mercurio varía de acuerdo a su especie. El mercurio metálico, por ser liposoluble y por su ausencia de carga, atraviesa fácilmente la membrana alveolar llegando a los eritrocitos donde a pesar de presentar una rápida oxidación, puede alcanzar a ser distribuido en su forma elemental al cerebro u otros órganos donde posteriormente también es oxidado a  $Hg^{2+}$ , perdiendo su liposolubilidad, uniéndose a proteínas celulares y quedando “atrapado” a nivel intracelular. El mercurio inorgánico, tras ser absorbido se fija a proteínas plasmáticas y es distribuido por todo el cuerpo; a nivel renal puede formar complejos con metalotioneinas. Por su parte, los compuestos orgánicos de mercurio que son absorbidos se unen en sangre a la hemoglobina y son distribuidos ampliamente por todo el organismo, pero especialmente al cerebro, donde es rápidamente concentrado. El transporte a otros tejidos como hígado y riñón está mediado por la formación de un complejo cisteína – metilmercurio. La eliminación de los diferentes compuestos de mercurio se efectúa por vía renal y por heces, al igual que por glándulas salivales, sudoríparas y leche materna.<sup>46,47</sup>

#### **4.3.4 Mecanismo de acción toxica**

Se considera que la alteración del funcionamiento celular originado por el mercurio es causa de su afección para unirse al sulfuro, remplazando el ion hidrogeno de los grupos sulfhidrilos presentes en todo el cuerpo. El mercurio también reacciona con los grupos

fosforil, carboxil y amida, generando una amplia disfunción de enzimas, mecanismos transportadores, membranas y proteínas estructurales<sup>30</sup>.

Con relación al efecto neurotóxico originado por los compuestos orgánicos de mercurio, se considera que éste probablemente se debe a la fuerte unión del mercurio a los grupos tiol de los residuos de aminoácidos de proteínas críticas. El complejo metilmercurio – cisteína formado, simula la metionína a nivel molecular y logra acceder a través de la barrera hematoencefálica, afectando la homeostasis del calcio y reduciendo las corrientes a través de los canales de calcio<sup>48</sup>.

#### **4.3.5 Manifestaciones Clínicas Intoxicación por Mercurio**

Las manifestaciones clínicas de la intoxicación por mercurio, varían de acuerdo a la especie de mercurio a la cual se haya presentado exposición: La exposición aguda por vía inhalatoria a vapores inorgánicos de mercurio puede originar tos, escalofríos, fiebre, un cuadro de dificultad respiratoria secundario a traqueobronquitis severa, neumonitis intersticial y bronquiolitis; puede presentarse náusea, vómito, diarrea, sabor metálico, disfagia, sialorrea, debilidad, cefalea y alteraciones visuales.<sup>30</sup>

Dentro de las manifestaciones clínicas que produce la inhalación de bajos niveles de vapores de mercurio por períodos prolongados, se encuentran alteraciones del SNC, síntomas orofaríngeos, manifestaciones renales y signos y síntomas inespecíficos. Las alteraciones del SNC se pueden incluir: disminución de la productividad, pérdida de la memoria, debilidad muscular y temblor fino (micromercurialismo). Además, trastornos psíquicos, depresión, tristeza, llanto inmotivado, insomnio, excitabilidad, ansiedad, somnolencia y delirio (eretismo mercurial). Pueden aparecer también parestesias, ataxia, trastornos visuales, disartria, anosmia, defectos auditivos y estrechamiento del campo visual (visión en túnel). Como manifestaciones orofaríngeas aparece la estomatitis mercurial, pérdida de piezas dentales y algunos síntomas inespecíficos como anorexia, pérdida de peso, astenia y molestias gastrointestinales. En las alteraciones renales, se presenta la proteinuria y entre las alteraciones de piel y mucosas está la dermatitis crónica<sup>47</sup>. En el caso de la exposición aguda por vía oral a sales de mercurio inorgánico, se produce un espectro característico de alteraciones gastrointestinales caracterizadas

por la decoloración de las membranas mucosas con dolor local en orofaringe, sabor metálico, náusea, vómito, diarrea, dolor abdominal, hematemesis y hematoquezia<sup>50</sup>.

En el caso de exposición a compuestos orgánicos de mercurio la principal manifestación es la presencia de alteraciones neurológicas permanentes, las cuales pueden aparecer después de un periodo de latencia de semanas o meses, sin embargo también pueden presentarse síntomas gastrointestinales, temblor, dificultad respiratoria y dermatitis.

#### **4.3.6 Diagnóstico y tratamiento de los casos de intoxicación por mercurio**

El diagnóstico de intoxicación por mercurio se basa en la historia de exposición, el cuadro clínico y en la determinación de este metal en sangre, cabello y orina.<sup>30, 51, 52</sup>

El tratamiento se realiza de acuerdo al tipo de compuesto involucrado, la vía de exposición y la severidad de los síntomas. Los casos agudos requieren una rápida estabilización y descontaminación. La mayoría de casos derivados de exposición ambiental se presentan de forma subaguda y su tratamiento se centra específicamente al uso de agentes quelantes que posean grupos tiol que permitan la formación de complejos con el mercurio para favorecer su eliminación. Para los casos de intoxicación con mercurio elemental y sales inorgánicas se recomienda el uso del BAL (British Anti-Lewisite) durante 10 días en dosis decrecientes de 5/mg/kg/dosis cada 4 horas por vía intramuscular durante las primeras 48 horas y luego 2,5 mg/kg/dosis cada 6 horas por 48 horas y finalmente la misma dosis cada 12 horas por 6 días; también se utiliza el ácido 2,3 dimercaptosuccínico (Succimer) a razón de 10 mg/kg por vía oral 3 veces al día por 5 días.<sup>30, 51</sup>

#### **4.3.7 Monitoreo Biológico**

El monitoreo biológico de mercurio por medio de su evaluación en sangre permite la identificación de una exposición reciente y se utiliza para evaluar la exposición ocupacional y ambiental. El mercurio en orina también es útil para evaluar la exposición a compuestos inorgánicos de mercurio. Para la evaluación de exposición crónica para mercurio como metilmercurio se utiliza la evaluación de mercurio en cabello.<sup>48</sup>



#### **4.4 CADMIO**

El cadmio es un elemento metálico que está presente en toda la corteza terrestre en diferentes tipos de suelo, desde los rocosos hasta los arenosos. No se encuentra solo, generalmente está combinado con sustancias como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfuro de cadmio, sulfato de cadmio) y también se encuentra asociado a diversos minerales como zinc, plomo y cobre y se obtiene de forma secundaria al extraer estos últimos. Debido a que no se oxida fácilmente su vida media es larga y sufre procesos de bioacumulación y biomagnificación lo cual es evidente en animales marinos (moluscos y peces) y de agua dulce, algas, setas y hortalizas <sup>34</sup>. Sus propiedades anticorrosivas lo hacen muy útil a nivel industrial para procesos de galvanizado y revestimiento metálico. También se usa como pigmento para pinturas y plásticos, fabricación de baterías y como estabilizante del PVC.<sup>53</sup>

Pequeñas cantidades de cadmio entran al ambiente a partir del calentamiento natural de los metales, incendios forestales y emisiones volcánicas, sin embargo la mayoría de las emisiones provienen de fuentes humanas como minería y soldadura. El cadmio a nivel atmosférico puede encontrarse en pequeñas partículas producidas por procesos de combustión las cuales van a hacer parte del material particulado; el óxido de cadmio y el cloruro de cadmio producidos durante la incineración son las principales especies químicas del cadmio que se encuentran a nivel ambiental. El óxido de cadmio es la forma frente a la cual se presenta mayor exposición. Es uno de los elementos tóxicos que no hace parte del ciclo vital de los seres vivos, pero que puede contaminarlos.

##### **4.4.1 Comportamiento en matrices ambientales**

El cadmio que ingresa al ambiente procedente de actividades de minería, forma partículas en el aire que pueden viajar grandes distancias y luego depositarse en cuerpos de agua o en el suelo. Al entrar a cuerpos de agua se diluye parcialmente y otra parte se deposita en los sedimentos o suelos que han entrado en contacto con el agua, adhiriéndose

fuertemente a las partículas del suelo, donde luego puede ser captado por las plantas, peces y animales. Debido a que el cadmio no se descompone en el medio ambiente, permanece por largo tiempo en el sitio donde es depositado.<sup>53</sup>

#### **4.4.2 Vías de Exposición**

La principal fuente de exposición para la población general es el consumo de alimentos contaminados. Las plantas captan el cadmio del suelo, proveniente del depósito ambiental, del riego con agua contaminada y en algunos casos del uso de fertilizantes contaminados con cadmio. El uso de lodos contaminados como fertilizante, también es una fuente de contaminación. Las ostras, mariscos y moluscos son la principal fuente de cadmio en la dieta, ya que acumulan el cadmio del agua en forma de péptidos ligadores de cadmio y llegan a contener de 100 a 1000 µg/kg. La carne, el pescado y las frutas contienen de 1 a 50 µg/kg, algunos granos contienen de 10 a 150 µg/kg y las concentraciones mayores se encuentran a nivel de órganos como el hígado y el riñón de los animales. Se ha estimado que la ingesta diaria promedio de cadmio, proveniente de los alimentos, el agua y el aire en Europa y Norte América, varía entre 10 a 40 µg/día. Otra de las fuentes de exposición ambiental es el cigarrillo, cuyo nivel de cadmio depende de la concentración del mismo en el suelo en el cual creció el tabaco. Algunas actividades ocupacionales son una fuente importante de exposición a cadmio, especialmente en actividades como soldadura, joyería, y galvanoplastia.<sup>54, 60</sup>

#### **4.4.3 Toxicocinética**

El cadmio se absorbe esencialmente por vía intestinal y respiratoria. A nivel gastrointestinal el cadmio presenta una escasa absorción (5 al 8 %), la cual se incrementa ligeramente en casos de deficiencias dietarias de calcio, hierro y dietas bajas en proteínas. La escases de calcio en la dieta favorece la producción de proteínas ligadoras de calcio, las cuales aumentan la absorción de cadmio. Se ha identificado que las mujeres en edad fértil con bajos depósitos de hierro presentan mayor concentración de cadmio a causa de la mayor absorción de este último a nivel intestinal. A nivel

inhalatorio se presenta una mayor absorción (15 a 30 %), independiente de la solubilidad y tipo de compuesto de cadmio. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta que el hasta el 50 % del cadmio presente en el humo del cigarrillo puede ser absorbido, y que un cigarrillo contiene 1 a 2 ug de cadmio, se estima que al fumar, se puede inhalar el 10 % del contenido de cadmio de un cigarrillo. A nivel dérmico puede presentarse una fácil absorción de partículas de cloruro de cadmio.

Una vez absorbido, el cadmio se une a las proteínas albumina y  $\alpha$ -2macroglobulina y es rápidamente redistribuido al riñón y el hígado, entrando en estos órganos por tres mecanismos diferentes: por medio de transportadores de calcio y zinc, formando complejos (Cd-glutatión o Cd-cisteína) con proteínas de transporte y por endocitosis de complejos cadmio – proteínas. Una vez es incorporado al hígado y al riñón, el cadmio forma complejos con la metalotioneína (Cd-MT), una proteína endógena rica en grupos tiol y propia de estos dos órganos, la cual se encarga de ligar y secuestrar el cadmio a nivel hepático, explicando su acumulación y a su vez, su prolongada vida media (10 a 30 años). Las reservas de este complejo (Cd-MT) son eliminadas lentamente del hígado y son filtradas por el glomérulo, reabsorbiéndose y concentrándose una cantidad significativa de las mismas a nivel de los túbulos proximales renales, generando con el tiempo disfunción tubular renal, que se manifiesta como proteinuria e hipercalciuria; éste daño a su vez, altera la homeostasis del calcio y de los fosfatos, haciendo que a nivel óseo se presente osteomalacia. La concentración crítica de cadmio en la corteza renal que produce disfunción tubular en el 10 % de la población es aproximadamente 200  $\mu\text{g/g}$  y 300  $\mu\text{g/g}$  en el 50 % de la población. En los casos de exposición inhalatoria, la lesión pulmonar se debe al deterioro y necrosis de los macrófagos alveolares, lo cual induce una liberación de enzimas que van a producir un daño irreversible a las membranas basales, favoreciendo el proceso fibrótico. Se ha identificado que el cadmio reduce la actividad alfa 1- antitripsina, incrementando su toxicidad pulmonar. Por su parte el cadmio no ligado también puede intervenir funciones celulares de diferentes maneras, uniéndose a grupos sulfhidrilos, inactivando enzimas y desnaturalizando proteínas.<sup>54,55</sup>

#### **4.4.4 Mecanismo de acción toxica**

Una vez se ha formado el complejo Cadmio – Metalotioneína (Cd-Mt) a nivel hepático, este es liberado paulatinamente hacia la circulación sistémica y es eliminado por vía renal, donde es filtrado a nivel glomerular y posteriormente es captado por las células epiteliales de los segmentos S1 y S2 del túbulo contorneado proximal, acumulándose de manera permanente y ejerciendo su efecto toxico a ese nivel. Aquí el epitelio tubular es rápidamente degradado por las enzimas lisosomales, permitiendo que el cadmio se una a los grupos sulfhidrilo, desnaturalice las proteínas e inhiba las funciones enzimáticas, originando daños a nivel mitocondrial y alteraciones en el transporte del calcio, lo cual desencadena el proceso de muerte celular; este daño en la función tubular celular de reabsorción se manifiesta como proteinuria, que se hace evidente por la pérdida urinaria de proteínas de alto peso molecular como la albúmina y la transferrina, así como por glucosuria, aminoaciduria y fosfaturia. Este mecanismo explica la nefropatía de predominio cortical originada por el cadmio.<sup>56, 57,58</sup>

#### **4.4.5 Manifestaciones clínicas de la intoxicación con Cadmio**

Su toxicidad aguda se deriva principalmente de la inhalación de humos de cadmio, lo cual puede originar neumonitis aguda y edema pulmonar. También puede presentarse a partir de la ingestión de concentraciones elevadas de cadmio en alimentos contaminados, la cual se manifiesta con náusea, vómito y dolor abdominal.

La toxicidad crónica se relaciona con exposiciones ocupacionales y ambientales a bajas dosis de cadmio y se caracteriza por alteraciones en diferentes órganos. Se presentan también efectos nefrotóxicos crónicos, derivados del daño glomerular y tubular renal, y evidentes por la presencia de proteinuria, encontrándose una relación directa entre el grado de disfunción renal y la carga corporal total de cadmio; así mismo alteraciones pulmonares, en caso de exposición a humos con cadmio, y manifestadas como alteración en las pruebas de función respiratoria, especialmente alteraciones obstructivas que, de acuerdo al tiempo y nivel de exposición, pueden originar una bronquitis crónica con posterior fibrosis progresiva de las vías respiratorias inferiores, daño alveolar e incremento del riesgo de carcinogénesis. A nivel músculo esquelético se presentan alteraciones

derivadas de la osteomalacia ocasionada en pacientes expuestos a cadmio e inadecuada mineralización ósea.<sup>30,40</sup>

#### **4.4.6 Diagnostico y Tratamiento de la intoxicación con cadmio**

El diagnostico se soporta en la valoración clínica y en la determinación de cadmio en sangre y en orina. El manejo de los casos agudos depende de la vía de exposición; en caso de ingestión de concentraciones elevadas de cadmio, se recomienda el uso de lavado gástrico y el manejo con agentes quelantes tipo succimer. En caso de exposición por vía inhalatoria, se requiere manejo con oxígeno de soporte. Las alteraciones derivadas de la exposición crónica implican un grado de irreversibilidad en el deterioro, por lo cual, se requiere retirar de la exposición; infortunadamente en estos caso el manejo quelante no está indicado, especialmente porque la mayoría del cadmio está ligado a las metalotioneínas a nivel intracelular, y el uso del quelante podría exacerbar la toxicidad al favorecer la redistribución del cadmio por el proceso de remoción.<sup>30, 40</sup>

#### **4.4.7 Monitoreo Biológico**

Teniendo en cuenta que el cadmio se distribuye en la sangre tanto en plasma como en eritrocitos. Tiene un comportamiento cinético bicompartimental con una rápida eliminación (con una vida media de 75 a 135 días) y luego una fase lenta de 7 a 16 años. Este modelo se logró identificar a partir de observación de poblaciones ocupacionalmente expuestas en las cuales se apreciaba un incremento en los niveles de cadmio en sangre tras la exposición, hasta un máximo de cuatro meses. Al iniciarse la exposición, el nivel de cadmio en sangre es elevado y no depende de la carga corporal; al interrumpir la exposición, la concentración sanguínea dependerá de la cinética del segundo comportamiento, aumentando la influencia que ejerce la carga corporal retenida en los tejidos. Esto permite justificar, a nivel ocupacional, que los niveles en sangre de cadmio en sangre sean más útiles para evaluar exposiciones recientes. Los niveles limite de cadmio en sangre se basan en la correlación existente entre los niveles biológicos y el

valor al cual se origina disfunción renal, considerando como seguro un valor de 10 ug/L en sangre. Sin embargo es importante tener en cuenta que los valores umbrales obtenidos a partir de estudios de personas expuestas ocupacionalmente, no son totalmente extrapolables a la población general, ya que en ésta la exposición es principalmente por vía oral, presentando una cinética diferente a la vía inhalatoria.<sup>59</sup>

Las concentraciones de cadmio en sangre en la población normal varían entre 0.4 a 1.0 µg/L para no fumadores y 1.4-4 µg/L para fumadores. La exposición ambiental puede elevar los niveles sanguíneos de cadmio por encima de 10 µg/L. Trabajadores con exposición ocupacional a cadmio por inhalación pueden tener niveles de cadmio superiores a 50 µg/L.<sup>53</sup>

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

La presente investigación tiene por objetivo general:

- a) Determinar los niveles en sangre de los metales pesados plomo, mercurio y cadmio en los habitantes de la población de Sibaté,
- b) Evaluar sus condiciones de salud y
- c) Describir la relación existente entre los valores obtenidos, las condiciones de salud de la población y la contaminación por metales pesados del embalse del muña.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

5.2.1 Determinar los niveles en sangre de los metales cadmio, plomo y mercurio en la población evaluada.

5.2.2 Identificar las posibles vías de exposición y el comportamiento de los síntomas relacionados con la exposición a metales pesados.

5.2.3 Realizar una valoración médica a la población seleccionada, con énfasis en la identificación de posibles efectos ocasionados por los metales pesados en estudio.

5.2.4 Analizar la información obtenida y describir la influencia que origina la contaminación por metales pesados del embalse sobre la salud de los habitantes del municipio.

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 TIPO DE ESTUDIO**

Se desarrolló un estudio descriptivo transversal para medir los niveles de metales pesados en la población de Sibaté, y determinar la prevalencia de las alteraciones a la salud asociadas a la exposición crónica a los mismos.

### **6.2 ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO**

El estudio se llevó a cabo en veredas de la zona rural y en la cabecera municipal de Sibaté (Cundinamarca), municipio ubicado en cercanías del embalse del muña.

### **6.3 POBLACIÓN A ESTUDIO**

Se estudiaron los habitantes del área rural y urbana del municipio de Sibaté, que cumplieron los criterios de inclusión del estudio.

#### **6.3.1 Criterios de Inclusión**

Para participar en el estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Ser habitante del municipio de Sibaté, área rural o urbana.
- Encontrarse en el rango de edad de 10 a 49 años.
- Tener un tiempo de vivienda en el municipio superior a un año.
- Participar voluntariamente en el estudio y manifestar por escrito dicha intención, mediante la firma del consentimiento informado.

La selección de los rangos de edad de los participantes fue realizada por los investigadores principales, teniendo en cuenta que la exposición a las sustancias en estudio (metales pesados, plaguicidas y solventes, para el estudio general), puede ser multicausal y algunos de los efectos tóxicos relacionados con las mismas, pueden ser



originados por alteraciones patológicas que pueden presentarse por otras causas, especialmente después de la quinta década de la vida; de acuerdo a esto, se asumió que las alteraciones, relacionadas con las sustancias en estudio y derivadas de una potencial exposición ambiental, pueden evidenciarse con mayor claridad en el grupo de 10 a 19 años. Por su parte, el grupo de 20 a 49 años permite a su vez evaluar la exposición ambiental y ocupacional, permitiendo categorizar las mismas de acuerdo a la existencia de exposición a las sustancias en estudio a nivel del ámbito laboral.

Con relación al tiempo de residencia en el municipio, y de acuerdo a las características de comportamiento biológico de las sustancias en estudio, se consideró que debería haber al menos un año de exposición a las condiciones ambientales del mismo.

### **6.3.2 Criterios de Exclusión**

Se excluyeron del estudio las personas que no cumplieran con los criterios de inclusión y que además presentaran condiciones como:

- Embarazo en curso.
- Incapacidad mental para responder a la encuesta.

### **6.3.3 Calculo del tamaño de la muestra**

Los investigadores principales del grupo de investigación en Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud realizaron el cálculo del tamaño de la muestra utilizando la herramienta STATCALC del programa Epi Info 6.4, para lo cual, primero se selecciona una de las tres opciones de tipo de estudio que ofrece el programa (population, cohort y unmatched case control) de acuerdo al diseño planeado, para el presente caso se seleccionó la opción de estudio poblacional, el cual considera estudios descriptivos de corte transversal como el presente estudio. Posteriormente se introduce el tamaño de la población a estudio (32.200 habitantes, de acuerdo a los datos del censo de 2005). Luego se incluye la frecuencia esperada del factor en estudio, en este caso, presentar niveles de plomo, cadmio y mercurio que afecten la salud, situación que se consideró posiblemente

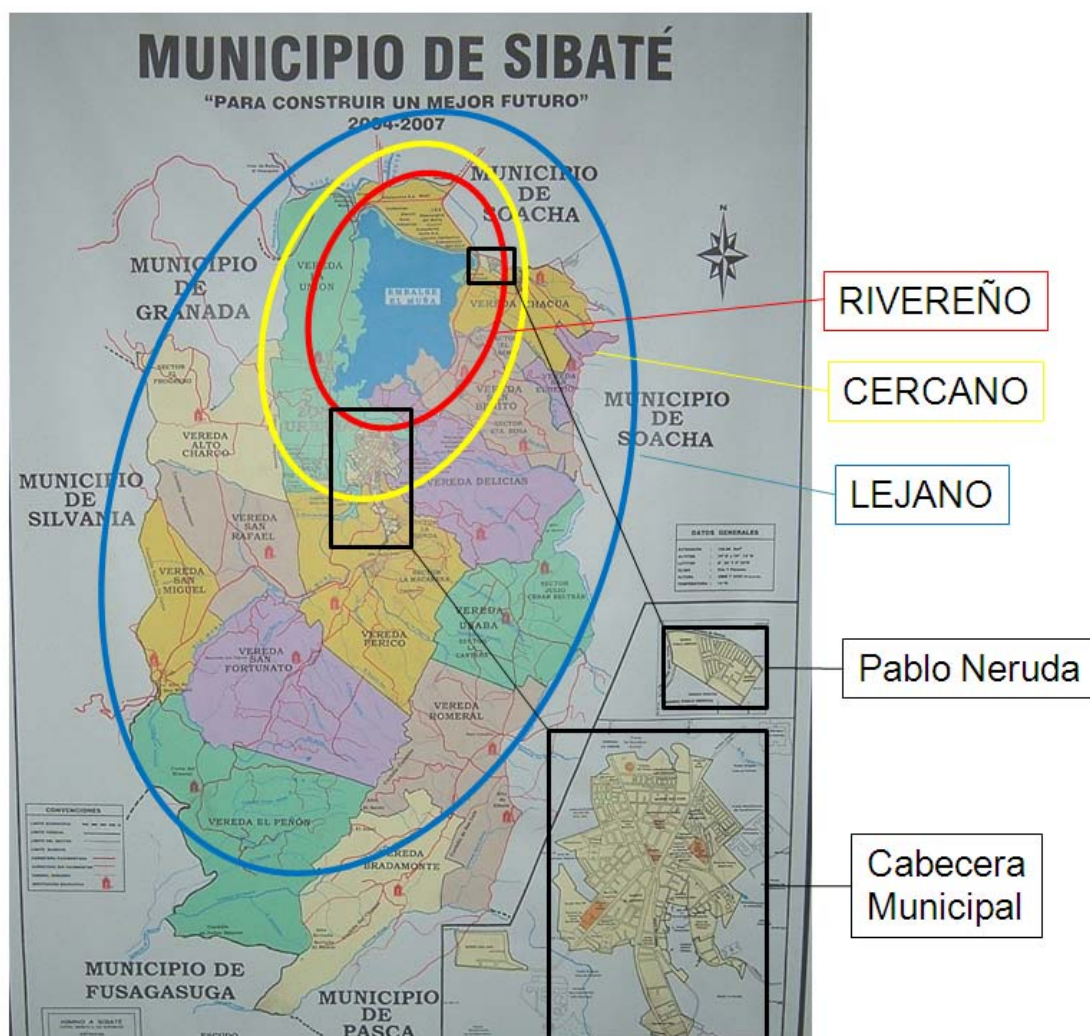
identificable en el 50 % de la población a evaluar, teniendo en cuenta la carga de contaminación del embalse y la posibilidad de entrar en contacto indirecto con los metales presentes en el mismo.

Una vez definida la frecuencia esperada, se estima el peor resultado esperado, correspondiente al máximo valor real que se puede considerar como resultado confiable, de la prevalencia del fenómeno en estudio en la población evaluada. Para el presente estudio se definió en 40 %. En este punto Epi Info genera una tabla con los potenciales tamaños de muestra para niveles de confianza de 90%, 95% y 99%. Los investigadores principales seleccionaron un nivel de 99%, lo cual permite obtener una muestra de 268 sujetos de estudio. Considerando un porcentaje de seguridad de 20%, por posibles pérdidas de sujetos de investigación durante el desarrollo del estudio, se obtuvo un tamaño final de 322 sujetos.

#### **6.3.4 Estrategia de muestreo**

Para definir la estrategia de muestreo fue necesario realizar una visita a la zona de estudio, con el fin de identificar y conocer las características de las áreas rurales y urbanas a incluir. Se tuvieron en cuenta aspectos como el uso del agua del embalse para actividades como el riego de cultivos, el desplazamiento del agua al interior del embalse y su relación con los puntos de ingreso y salida de la misma en el embalse, la potencial lixiviación de las aguas y el desplazamiento de la eventual pluma de contaminación, la dirección de los vientos, la localización geográfica de los asentamientos humanos y las fuentes de consumo hídrico, entre otros. Con base en lo anterior y con el fin de evaluar si existen diferencias relacionadas con la distancia de ubicación de los lugares de muestreo con respecto a al embalse, y teniendo en cuenta la información del plan de ordenamiento territorial del municipio, los diferentes barrios y veredas fueron clasificados en tres categorías de acuerdo a su ubicación en relación al embalse, dentro de las que se encuentran: 1) Rivereño: del borde del embalse hasta 150 mts. 2) Cercano de 150 a 300 mts del borde del embalse y 3) Lejano: Distancia superior a 300 mts del borde del embalse, tal como se aprecia en la Ilustración 3.

**Ilustración 3. Categorías de Clasificación de las áreas del municipio de acuerdo a la relación de distancia con el embalse**



Fuente: Fotografía tomada y adaptada por el autor

Con los datos suministrados por la secretaria de salud del municipio, relacionados con la distribución poblacional en las diferentes veredas y barrios, correspondientes al censo de 2005, se procedió a realizar un muestreo aleatorio estratificado (por barrios y veredas) con asignación proporcional según número de habitantes por ubicación geográfica y grupos de edad definidos, es decir obteniendo un valor proporcional de sujetos de cada

grupo de edad para cada barrio o vereda, de acuerdo a la cantidad de personas reportadas por la secretaria de salud para cada estrato (barrio o vereda). En algunos barrios y veredas no se logró completar la asignación proporcional por edad para el grupo de 10 a 19 años, debido a que la mayor proporción de población era del grupo de 20 a 49 años. Es importante tener en cuenta que por tratarse de un estudio de participación voluntaria, cuya captura de información se efectuó en el horario de 8:00 am a 5:00 pm, está sujeto a posibles sesgos de selección. En la Tabla 5 se aprecia la distribución de la muestra de acuerdo a ubicación y grupo de edad.

**Tabla 5. Distribución de la muestra de acuerdo a ubicación y rango de edad**

| BARRIO/VEREDA                       | LOCALIZACION | CATEGORIA | MUESTRAS   | RANGO DE EDAD |            |
|-------------------------------------|--------------|-----------|------------|---------------|------------|
|                                     |              |           |            | 10-19 AÑOS    | 20-49 AÑOS |
| SAN JORGE                           | Urbano       | Cercano   | 46         | 11            | 35         |
| EL PROGRESO                         | Urbano       | Cercano   | 22         | 5             | 17         |
| SAN MARTIN                          | Urbano       | Cercano   | 24         | 5             | 19         |
| SANTA ISABEL                        | Urbano       | Cercano   | 16         |               | 16         |
| URB. PARQUES DEL MUÑA               | Urbano       | Cercano   | 23         | 6             | 17         |
| URB. LOS ROSALES                    | Urbano       | Cercano   | 46         | 13            | 33         |
| LA PAZ                              | Urbano       | Lejano    | 17         | 2             | 15         |
| SAN RAFAEL                          | Rural        | Lejano    | 17         | 2             | 15         |
| PERICO                              | Rural        | Lejano    | 24         | 7             | 17         |
| EL PEÑON                            | Rural        | Lejano    | 11         | 2             | 9          |
| SAN MIGUEL                          | Rural        | Lejano    | 15         | 5             | 10         |
| CHACUA                              | Rural        | Lejano    | 17         | 5             | 12         |
| SAN JOSE                            | Urbano       | Rivereño  | 10         | 1             | 9          |
| PABLO NERUDA                        | Urbano       | Rivereño  | 41         | 11            | 30         |
| PIE DE ALTO                         | Rural        | Rivereño  | 9          | 2             | 7          |
| EMPRESA DE SERV.PUBLI.<br>DE SIBATE | Rural        | Rivereño  | 9          |               | 9          |
| MOLINOS DE PAPEL                    | Rural        | Rivereño  | 8          |               | 8          |
| <b>TOTAL</b>                        |              |           | <b>355</b> | <b>77</b>     | <b>278</b> |

Fuente: Datos procesados a partir de la encuesta individual, Instituto Nacional de Salud, 2007

## **6.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **6.4.1. Variables de Identificación y Sociodemográficas**

Se evaluaron las siguientes variables en todos los participantes del estudio:

- 1) Edad: Años cumplidos al momento de la toma de la muestra. Variable cuantitativa discreta. Se categorizó en dos grandes grupos, edades entre 10 y 19 años, con dos subgrupos de 10 a 14 y 15 a 19, y edades entre 20 y 50 con tres subgrupos de 20 a 30 de 31 a 40 y de 41 a 50.
- 2) Género: Masculino o Femenino. Variable cualitativa nominal.
- 3) Escolaridad: Formación académica alcanzada. Variable cualitativa. Se agrupó en cuatro grupos: formación primaria, secundaria, técnica y universitaria, cada una especificada como completa o incompleta.
- 4) Tiempo de vivienda en Sibaté: Tiempo en años que lleva viviendo en el municipio. Variable cuantitativa continua. Se categorizó en tres grupos así: De uno a cinco años, de cinco a diez años, más de diez años.
- 5) Barrio o Vereda: Nombre del respectivo barrio o vereda donde vive. Variable cualitativa nominal.
- 6) Lugar de vivienda: Localización geográfica de la vivienda con respecto al embalse. Variable cualitativa nominal. Se agrupó de acuerdo a los cuatro puntos cardinales.
- 7) Cercanía de la vivienda al embalse: Ubicación de la vivienda en relación a un rango establecido de distancia perimetral del embalse. Variable cuantitativa continua. Se categorizó en tres grupos, rivereño (< 150 mts), cercano (150 – 300 mts) y lejano (> 300 mts), de acuerdo con la distancia de la ubicación de la vivienda respecto al borde del embalse.

### **6.4.2 Variable Ocupacional**

- 8) Para evaluar la posible influencia de la eventual exposición a metales pesados derivada del trabajo, se tuvo en cuenta una variable de tipo cualitativo como el uso o exposición actual o anterior de metales pesados en actividad laboral. Se estableció indagando si la persona trabaja o ha trabajado con algunos de los metales pesados en estudio, en alguna de las actividades mas frecuentemente asociadas. Se agrupó en dos categorías, trabaja o

ha trabajado con metales pesados y no ha trabajado con metales pesados. En quienes han trabajado con metales, se tuvo en cuenta el tiempo en el oficio.

#### **6.4.3 Variables de Antecedentes Personales**

Teniendo en cuenta que en la población general, la principal ruta de exposición crónica a los metales en estudio es la vía digestiva, se tuvieron en cuenta algunos aspectos determinantes como los hábitos de consumo de determinados alimentos con potencial de bioacumulación o contaminación con metales pesados. También se incluyó información relacionada con antecedentes patológicos relevantes, hábitos de consumo de alcohol y tabaco y hábitos.

9) Antecedentes tóxicos: Presencia de hábitos de consumo de tabaco y alcohol. Variable cualitativa nominal medida por el autoreporte del consumo, la cantidad y frecuencia del hábito. Para el cigarrillo se categorizó en no fumadores y fumadores, a los cuales se les estimó una frecuencia promedio de consumo. Con relación al alcohol se establecieron dos categorías, no bebedores y bebedores; a estos últimos se les categorizó su frecuencia de consumo en diario, 2 o más veces por semana, mensual y otro, en el caso de reporte de consumo esporádico.

10) Hábitos Alimenticios: Variable cualitativa ordinal que evalúa la frecuencia de consumo de alimentos específicos como enlatados, verduras, frutas, carne, pollo, pescado, crustáceos, hongos, leche, café y agua, sin ser mutuamente excluyentes. Se establecieron siete categorías de frecuencia de consumo para cada tipo de alimento (Diario, una vez a la semana, dos veces a la semana, quincenal, mensual, nunca, y otro tipo de frecuencia).

#### **6.4.4 Variables Clínicas**

Se consideraron diferentes síntomas asociados a la exposición crónica a metales pesados, variables biológicas y diagnóstico clínico de relevancia para cada paciente.

11) Autoreporte de síntomas: Variable de tipo cualitativo nominal evaluada como la presencia o ausencia de síntomas específicos en diferentes sistemas, relacionados con los efectos tóxicos derivados de la exposición crónica a metales pesados.

#### Hallazgos clínicos

12) Presión Arterial: Valores de presión arterial sistólica y diastólica. Variable cuantitativa discreta, agrupada como normal o anormal (hipertensión). Este dato es especialmente asociado al efecto toxico crónico del plomo y el cadmio.

13) Índice de Masa Corporal: Relación entre peso y talla que permite evaluar indirectamente el estado nutricional. Variable cuantitativa continua agrupada en tres categorías: Normal (< 24), sobrepeso (25 – 30) Obesidad (>30)

14) Diagnostico Clínico: Impresión diagnostica derivada del examen medico. Variable cualitativa nominal, agrupada por sistema comprometido de acuerdo al diagnostico.

### **6.4.5 Niveles de metales pesados en sangre**

Son una variable cuantitativa continua que corresponde a los niveles de plomo, mercurio y cadmio identificados en las muestras de sangre de las personas participantes en el estudio, obtenidos por mediciones analíticas. Los valores de referencia en sangre y las técnicas analíticas utilizadas, son las descritas en el manual de procedimientos para determinación de trazas de metales pesados en muestras biológicas y ambientales<sup>59</sup> que se presentan en el **anexo 1** y que el Instituto Nacional de Salud ha definido como institucionales. Estos valores fueron adoptados a partir de las experiencias del grupo de Lefebvre y colaboradores, del centro toxicológico de Quebec, Canadá.

#### **6.4.5.1 Medición de plomo en sangre**

Su medición permite evaluar la exposición aguda y crónica al plomo. Es el valor de plomo en mg/dL obtenido a partir del análisis espectrofotométrico de la muestra. De acuerdo a los valores de referencia del método del laboratorio de toxicología de Quebec, Canadá (Lefebvre y col), se establecerán las siguientes categorías:

- Valor normal :
  - Valores de plomo < 0.038 mg/dL en población general con ausencia de exposición ocupacional.
  - Valores de plomo entre 0.039-0.066 mg/dL en población con exposición ocupacional a plomo.
- Valor Anormal:
  - Valores de plomo > 0.038 mg/dL en población general con ausencia de exposición ocupacional. Su presencia por encima de este valor se considerará reflejo de exposición ambiental.
  - Absorción peligrosa 0.067-0.076 mg/dL
  - Absorción compatible con intoxicación > 0.077 mg/dL

Limite de detección del método: 0.003 mg/dl

#### **6.4.5.2 Medición de mercurio en sangre**

Su medición permite evaluar exposiciones recientes al metal. Es el valor de mercurio en  $\mu\text{g/L}$  obtenido a partir del análisis espectrofotométrico de la muestra. En la población general dicho valor no debe exceder el límite permisible de 20  $\mu\text{g/L}$  (Lefebvre y col). De acuerdo a este se establecieron dos categorías:

- Valor normal: Muestra que no excede los niveles límites permisibles en la determinación de mercurio en sangre.
- Valor anormal: Muestra que exceda los niveles límites permisibles en la determinación de mercurio en sangre.

Aunque para la evaluación de la exposición crónica a mercurio es mas especifica la evaluación de los niveles del metal en cabello, la evaluación de niveles en sangre permite identificar exposiciones recientes.



### 6.4.5.3. Medición de cadmio en sangre

Su medición permite evaluar exposiciones recientes y crónicas. Es el valor de Cadmio en nmol/L obtenido a partir del análisis de la muestra por espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito. Para esta variable los valores de referencia que se tendrán en cuenta para la población general serán los siguientes, según el Centro de Toxicología de Quebec (CTQ) (Lefebvre y col.)

- Valor Normal:
  - Valores de Cadmio < 45 nmol/l en no fumadores
  - Valores de Cadmio < 90 nmol/l en fumadores
  
- Valor Anormal
  - Valores de Cadmio > 45 nmol/l en no fumadores
  - Valores de Cadmio > 90 nmol/l en fumadores

Limite detección del método: 3,0 nmol / l

## 6.5 INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### 6.5.1 Consentimiento informado

Para el presente estudio se diseñó un formato de consentimiento informado el cual era firmado por el paciente o un acudiente una vez entendidos los propósitos y responsabilidades del grupo investigador. Dicho formato se presenta en el **Anexo 2**

### 6.5.2 Encuesta

Para la recolección de la información se diseñó un formulario que contenía todas las variables operativizadas y el cual permitió el registro de la información general del paciente (edad, genero, escolaridad, lugar de residencia, ubicación con relación al embalse), su actividad ocupacional principal, las características y tipo de elementos de

protección que utiliza, sus antecedentes de exposición ocupacional, antecedentes patológicos, hábitos alimenticios, una lista de síntomas y signos relacionados con los efectos descritos por la literatura y relacionados con la exposición a las sustancias objeto de estudio, y una sección de registro de datos obtenidos en la valoración clínica. En el **Anexo 3** se presenta el instrumento utilizado.

## **6.6 PRUEBA PILOTO**

Una vez definidas las variables y diseñado el instrumento, se solicitó autorización a un cultivo de flores de la sabana de Bogotá y se realizó una prueba del instrumento y de los formatos de consentimiento informado en un grupo de 35 operarios del área de poscosecha (correspondientes al 10% del total de la muestra). No se tomaron muestras biológicas debido a que ya se tenía estandarizado el protocolo para manejo de muestras en campo. La prueba realizada permitió identificar algunas preguntas de la encuesta que requerían ser aclaradas y sirvió para establecer tiempos promedio de diligenciamiento.

## **6.7 EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

Durante los meses de Julio a Noviembre de 2007 se llevó a cabo el trabajo de campo de la presente investigación. Se programaron 34 visitas y para el desarrollo de las mismas, se realizó una programación preliminar, que permitió que se efectuara un proceso de divulgación acerca de las características y objetivos del estudio, de modo que la población estuviera informada y pudiera acudir a la jornada de evaluación en su respectivo barrio o vereda ( **Anexo 4**). Para esta actividad se contó con el apoyo de las promotoras de salud de cada zona; también se recibió la colaboración del canal municipal de televisión, por medio del cual se transmitían las convocatorias a la población. La actividad se desarrolló en 10 barrios, 5 veredas y 2 empresas. Se evaluó un total de 355 personas, debido a que se incluyeron 33 sujetos adicionales al tamaño de muestra calculado, los cuales correspondieron a 17 trabajadores de dos empresas ubicadas en la rivera del embalse, que a su vez eran residentes del municipio de Sibaté, y 16 individuos no incluidos dentro de la estrategia de muestreo, que manifestaron explícitamente su interés de ser incluidos

en el estudio (cumpliendo a cabalidad los criterios de inclusión). A cada uno de los sujetos de evaluación se le aplicó un formulario de encuesta, se le recolectó la respectiva muestra y se le efectuó una valoración médica.

#### **6.7.1 Diligenciamiento de Instrumentos**

Previamente a la inclusión de cada participante, se explicaba brevemente el objetivo del estudio, las características del mismo y las responsabilidades que se adquirirían con el individuo participante por parte del Instituto Nacional de Salud, en relación a la entrega de resultados. Una vez aceptadas las condiciones se procedía a la verificación de los criterios de inclusión y posteriormente la firma del formato de consentimiento informado. Posteriormente se procedía a la entrevista para el diligenciamiento de la encuesta. Dada la complejidad de algunos términos, siempre se explicaba al paciente cada pregunta y se utilizaba lenguaje sencillo para facilitar el entendimiento de las mismas. Los menores siempre eran acompañados por su acudiente para el diligenciamiento de la encuesta. Todas las encuestas fueron aplicadas por personal de salud previamente capacitado en su diligenciamiento estandarizado.

#### **6.7.2 Toma de las muestras**

A cada individuo participante se le realizó la toma de una muestra de 20 ml de sangre venosa, de acuerdo al protocolo de toma de muestras del Instituto Nacional de Salud y teniendo en cuenta todas las medidas de bioseguridad. Una vez obtenida la muestra ésta era registrada y rotulada para su posterior análisis. El transporte y conservación de las mismas durante el trabajo de campo, se realizó en neveras portátiles; una vez finalizada la jornada diaria, las muestras se almacenaban en las neveras del instituto, en condiciones de refrigeración que permitían garantizar su conservación hasta el momento del análisis.

### **6.7.3 Valoración Médica**

Una vez realizada la encuesta se revisaban los antecedentes generales del paciente y se profundizaba en los síntomas referidos como positivos para aclararlos. Posteriormente se realizaba a cada paciente una valoración médica enfocada en la identificación de signos o alteraciones en los sistemas que pueden verse afectados por la exposición a metales pesados. A nivel neurológico se exploró la presencia de signos de neuropatía periférica, alteraciones en pares craneanos, déficit motor o sensitivo, temblores, alteraciones del equilibrio y alteraciones en órganos de los sentidos. A nivel gastrointestinal se evaluó la presencia de alteraciones gingivales, sialorrea, y dolor abdominal; en el sistema cardiovascular se evaluó la presencia de elevaciones en la presión arterial, alteraciones significativas del ritmo cardíaco y comportamiento de la perfusión periférica. Con relación a la piel se buscaron signos de irritación superficial, ulceraciones, resequedad, descamación y cambios queratósicos. Se registraron los signos vitales de cada paciente, se realizó la medición de la presión arterial y calculo del índice de masa corporal. Al final de cada valoración se registraron los diagnósticos del paciente.

### **6.7.4 Análisis de muestras biológicas**

El procesamiento y análisis de las muestras fue realizado por el personal del laboratorio de investigación en salud ambiental del Instituto Nacional de Salud. La técnica analítica utilizada fue espectrofotometría de absorción atómica, la cual se ejecutó de acuerdo a los parámetros recomendados por el Manual de procedimientos para la determinación de trazas de metales en muestras biológicas y ambientales del INS <sup>61</sup>.

Se tuvo la oportunidad de acompañar el proceso analítico de las muestras, identificando la estrategia utilizada por el químico encargado del análisis, la cual consistió en realizar una curva externa de calibración por medio de una solución con una concentración conocida del metal en estudio, a la cual se le realizan diluciones que permitían conseguir un patrón de concentración conocida, obteniendo una curva de la respuesta instrumental versus la concentración. Posteriormente, por medio de la aplicación de la regresión lineal por suma de cuadrados se calculó el intercepto, la pendiente y el coeficiente de

correlación. Una vez obtenida la curva de calibración y los coeficientes de sensibilidad y correlación, se efectuaba el procedimiento de evaluación de muestras dopadas o fortificadas, a las cuales se les adicionaba una cantidad conocida de analito, con el fin de verificar el porcentaje de recuperación, el cual debía estar entre el 97 y 103 %, con un intervalo de confianza del 95%.

Cada 12 muestras analizadas se efectuó control de calidad inyectando muestra de concentración conocida. Para cada muestra evaluada se realizaron dos lecturas de la misma, teniendo en cuenta el promedio de las dos muestras y verificando que la desviación estándar relativa o coeficiente de variación, no fuera superior al 2%.

La calidad de los análisis se respalda en el programa de control de calidad internacional interlaboratorios en metales pesados, del cual hace parte el laboratorio de salud ambiental del Instituto Nacional de Salud; para tal fin, trimestralmente recibe por parte del laboratorio de toxicología de Quebec, muestras problema y posteriormente envía los resultados de las mismas.

## **6.8. MANEJO DE LA INFORMACIÓN**

### **6.8.1. Recopilación y procesamiento**

Con las variables definidas en el formulario, se generó una base de datos en Excel® la cual se alimentó con la información de cada encuesta y se complementó con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio. Posteriormente se migró la base a SPSS® 15 y se efectuó el procesamiento de la información.

### **6.8.2. Plan de Análisis**

Análisis univariado

Se realizó un análisis descriptivo univariado de cada una de las variables, teniendo en cuenta el comportamiento de la media, mediana, moda, desviación estándar, varianza y rangos intercuartílicos en las variables continuas, con el fin de determinar las condiciones de normalidad en la distribución de la variable.

#### Análisis bivariado

De acuerdo a los resultados esperados, y contando con que se tuvieran grupos con diferencias significativas en los valores de los niveles de metales, inicialmente se planteó un análisis bivariado y multivariado para explorar las diferentes relaciones entre los niveles de metales en sangre y las variables de interés, sin embargo, se debió replantear la estrategia de análisis, de acuerdo a los resultados obtenidos.

#### **6.8.3. Control de sesgos**

Se considera que el presente estudio puede verse influenciado por el sesgo de memoria de los participantes, ya que es factible que no se recuerde adecuadamente aspectos como la sintomatología presentada meses atrás y la frecuencia de consumo de determinados alimentos, entre otros. Así mismo y como ya se comentó previamente, existe la posibilidad de contar con sesgos de selección por ser un estudio de participación voluntaria, llevado a cabo en horarios en los cuales era factible no incluir a sujetos que se encontraran fuera del área, ejecutando su actividad laboral.

#### **6.9 Consideraciones Éticas del estudio**

Debido a que el presente estudio tuvo como objeto de investigación a seres humanos y teniendo en cuenta la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud que establece las normas académicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, en el Título II Capítulo I Artículo 11 sobre los aspectos éticos de la investigación en seres humanos, esta investigación se clasifica como de riesgo mínimo. El desarrollo de la presente investigación contó con el aval del comité de ética del Instituto Nacional de Salud y de la Facultad de

Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, y exigió tener en cuenta consideraciones éticas de importancia; es así como en los casos en que se identificaron alteraciones de salud no asociadas con el objeto de estudio los pacientes fueron remitidos para ser valorados y tratados en su respectiva EPS o ARS. En los casos en que se identificara asociación entre alteraciones en la salud y presencia de niveles elevados de metales en sangre, el paciente sería informado y remitido a su respectiva EPS o ARS para tratamiento y se informaría a la Secretaria Municipal de Salud para efectuar el respectivo seguimiento y control. La información personal y los resultados individuales obtenidos en los exámenes realizados se manejaron respetando el derecho a la intimidad y privacidad de cada uno de los participantes en el estudio. Los resultados generales de esta investigación son del nivel colectivo y de acuerdo a esto pueden ser utilizados en la planeación y toma de decisiones de salud pública.

#### **6.10 Propiedad intelectual**

Teniendo en cuenta que la presente investigación es parte independiente del proyecto *“Determinación de los niveles de cadmio, plomo, mercurio, de los metabolitos en orina de benceno, tolueno y xileno y los plaguicidas 2,4 D y malatión y su posible efecto sobre la salud de la población del municipio de Sibaté como consecuencia de la contaminación del embalse del muña “*, y se circunscribe al análisis de la problemática relacionada con los metales pesados, su propiedad intelectual, de conformidad con el artículo 31 del acuerdo 020 de 2001 y su modificación hecha por el artículo 24 del acuerdo 035 del Consejo Académico, es de la Universidad Nacional de Colombia.

## 7. RESULTADOS

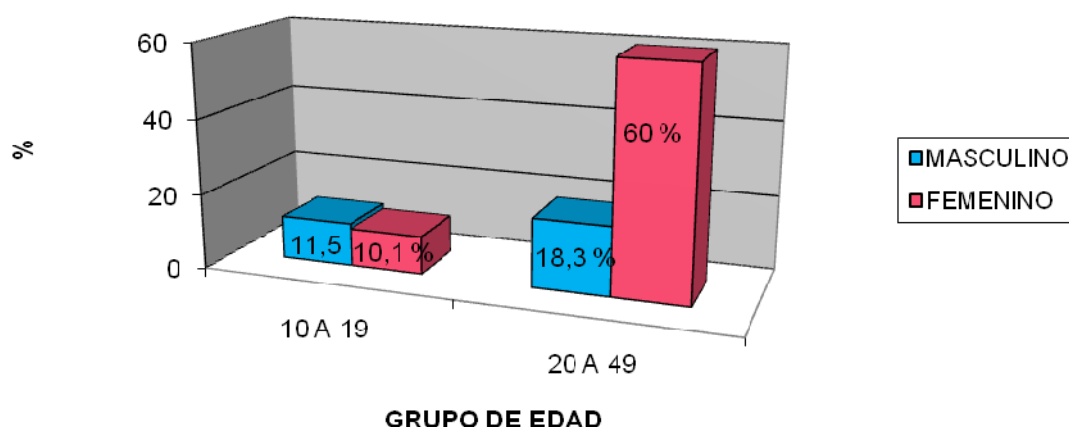
### 7.1 Análisis descriptivo univariado

#### 7.1.1 Variables Socio demográficas

En la

Gráfica 7 se presenta la distribución de acuerdo al género y a los dos grandes grupos de edad. En la Gráfica 8 se presenta la distribución específica de los diferentes subgrupos de edad. Se identificó que el promedio de edad de los participantes en el estudio fue de 30,5 años. En relación al nivel educativo se encontró que el 29,30% (104) de la población tenía un nivel correspondiente a secundaria incompleta, el 21,41 % (76) a secundaria completa, el 15,49 % (55) a primaria completa y el 14,37 % (51) a primaria incompleta. En relación al tiempo de residencia en el municipio se encontró un rango de 1 a 49 años, con una media de 21.8 años de residencia en el municipio. De acuerdo a los rangos de tiempo, 9.4% (33) de los evaluados lleva viviendo de 1 a 5 años, el 11.8% (42) lleva de 5 a 10 años viviendo en el municipio y el 80% (280) de la población lleva mas de 10 años viviendo en Sibaté, teniendo en cuenta que el 50,4 % de la población evaluada lleva viviendo toda su vida en el municipio.

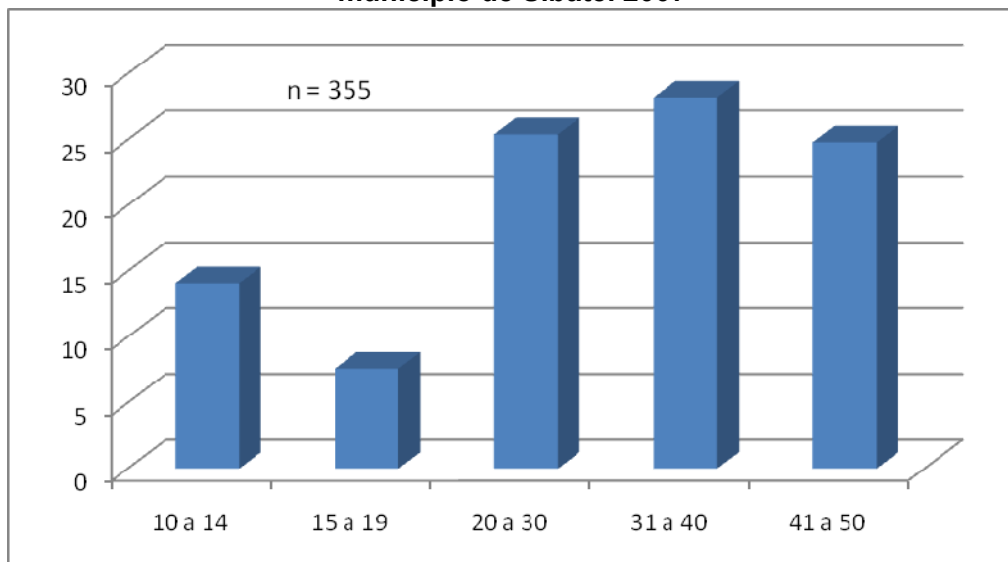
**Gráfica 7. Distribución por grupo de edad y género de los habitantes de Sibaté incluidos en el estudio.**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007



**Gráfica 8 Distribución porcentual por grupos etáreos de los habitantes del municipio de Sibaté. 2007**

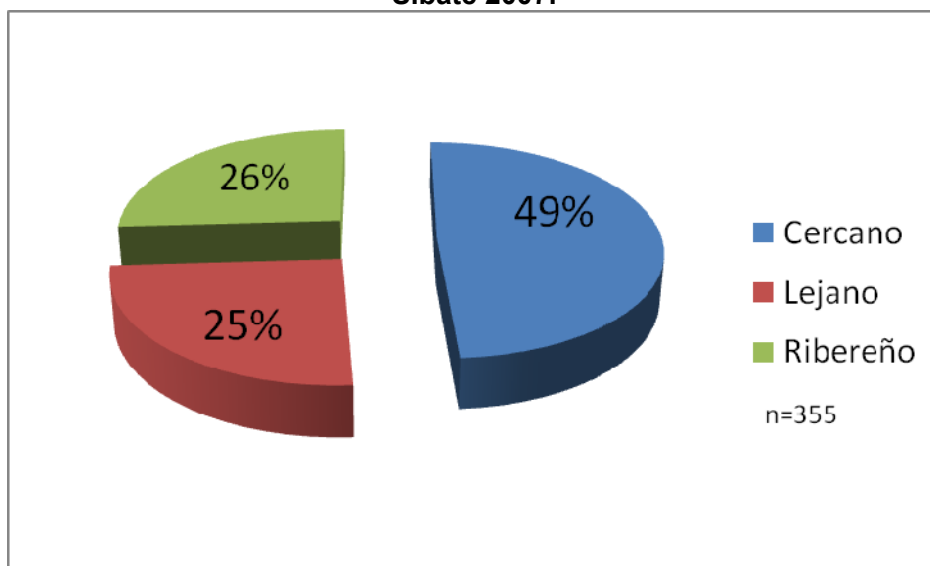


Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

El 77,7% (276) habitan en el área urbana del municipio y el 22,3% (79) proceden del área rural. Con relación a la ubicación cardinal de la vivienda con respecto al embalse, el 81.7% (290) de las viviendas se ubican al sur y el 16.6 (59) se ubican en la zona centro oriental. El 1.7% restante (6) están en las otras ubicaciones cardinales. En la Gráfica 9 se presenta la distribución con relación a la cercanía de la vivienda al embalse.

En la encuesta se incluyó un aspecto relacionado con los problemas mas relevantes derivados de habitar en cercanías del embalse, frente a lo cual se identificó que el 95,5% (339) de la población evaluada considera que la presencia de insectos es lo que más molestias genera; así mismo el 87% (309) refiere verse afectado por la presencia de malos olores, y tan solo el 8% (29) consideraron que la cercanía del embalse les origina problemas respiratorios, sin embargo el 31% (110) reportaron diferentes alteraciones a la salud como cefalea, reacciones alérgicas de piel, mareo, gripas, ardor ocular y conjuntivitis. Con respecto a la afiliación al Sistema General de Seguridad Social en Salud se identificó que el, 55,21 % (196) de la población estudiada se encontraba afiliada al régimen subsidiado y el 43,8 % (154) al régimen contributivo. Solamente el 1,41% (5) no se encontraba afiliado a ningún régimen.

**Gráfica 9 Distribución de acuerdo a la cercanía de la vivienda con el embalse. Sibaté 2007.**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

### 7.1.2 Variables Ocupacionales

Con relación a las actividades que realizan los habitantes de Sibaté participantes en el estudio, se evidenció que el 50% (178) hacen parte de la población ocupacionalmente activa; el resto de la población corresponde a un 29% de amas de casa, 18% de estudiantes escolares y 3% de desempleados.

Del total de las 355 personas evaluadas, 8 personas (2.3%) refieren haber trabajado con metales pesados y solamente 13 (3.6%) refieren trabajar actualmente con alguno de los metales pesados en estudio, realizando actividades como: fabricación de medidores de agua, explotación de minerales, fabricación de explosivos, mantenimiento de tanques criogénicos, actividades de metalmecánica, incineración industrial y elaboración de avisos publicitarios, entre otros. El resto de la población no reporta ningún tipo de exposición ocupacional a metales pesados.

### 7.1.3 Variables de antecedentes personales

#### Antecedentes de exposición a tóxicos

Con relación al consumo de cigarrillo, el 26% (93) de los encuestados refirió haber fumado y de estos, el 10,1 % (36) actualmente no fuma. Los que actualmente fuman, consumen 2 cigarrillos al día en promedio. Para el consumo de alcohol se identificó que el 58,7 % (208) de los 355 evaluados refieren consumir licor, con frecuencias que oscilan entre 2 o más veces por semana (9.6%), una vez al mes (19.7%) y de forma ocasional (70.6 %).

#### Hábitos Alimenticios

Con relación a los hábitos alimenticios se indagó la frecuencia de consumo de los diferentes grupos de alimentos para evaluar su posible relación con los niveles de metales. En la Tabla 6 se presentan las proporciones de consumo de alimentos reportadas por los participantes en el estudio de acuerdo a su frecuencia de consumo.

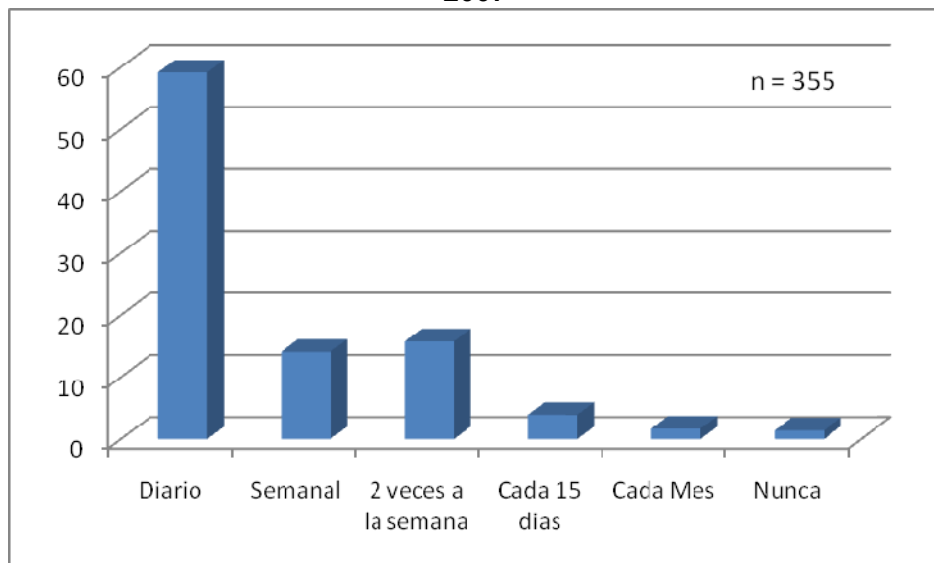
**Tabla 6. Distribución porcentual del tipo de alimentos consumidos. Sibate 2007.**

| <i><b>Tipo de alimento</b></i> | <i><b>No. Personas</b></i> | <i><b>%</b></i> |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Fruta                          | 350                        | 98.5            |
| Pollo                          | 350                        | 98.5            |
| Carne                          | 345                        | 97.1            |
| Verdura                        | 342                        | 96.3            |
| Café                           | 335                        | 94.3            |
| Leche                          | 333                        | 93.8            |
| Pescado                        | 278                        | 78.3            |
| Enlatado                       | 239                        | 67.3            |
| Hongos                         | 105                        | 29.5            |
| Crustáceos                     | 45                         | 12.6            |

Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

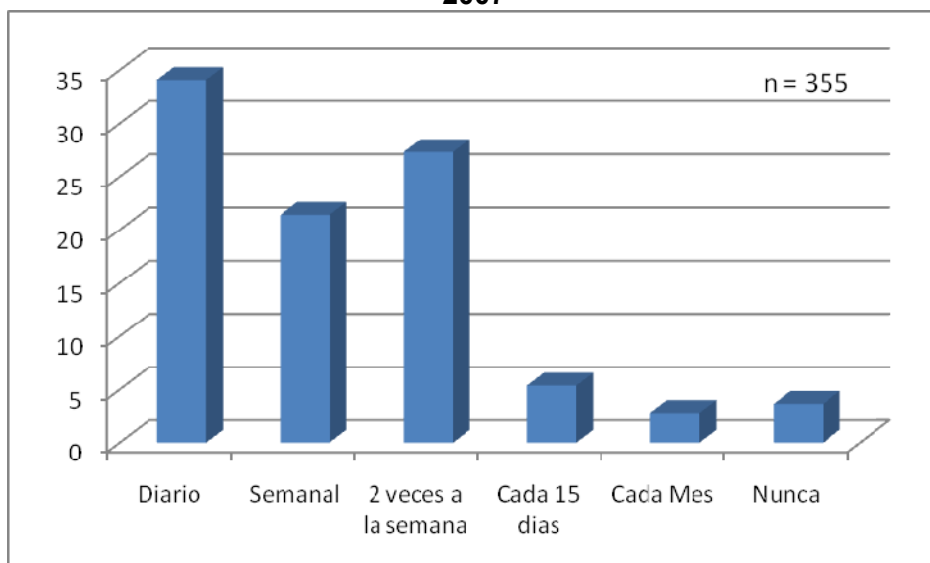
Los datos presentados en la tabla anterior permiten identificar que por su porcentaje de consumo, las frutas, carnes, verduras y leche, pueden ser una de las principales fuentes de exposición. El caso de las verduras posiblemente cultivadas en áreas cercanas al embalse, regadas con aguas del mismo, puede favorecer la acumulación y contaminación de estas con metales pesados. De todos modos, el consumo de cada uno de estos productos no es mutuamente excluyente para la acumulación de metales y debe considerarse su aporte en conjunto para una ponderación total. En las Gráfica 10 y Gráfica 11 se presentan las diferentes distribuciones de frecuencia de consumo de frutas y verduras en los habitantes de Sibaté participantes en el estudio.

**Gráfica 10. Distribución porcentual de frecuencias de consumo de frutas. Sibaté 2007**



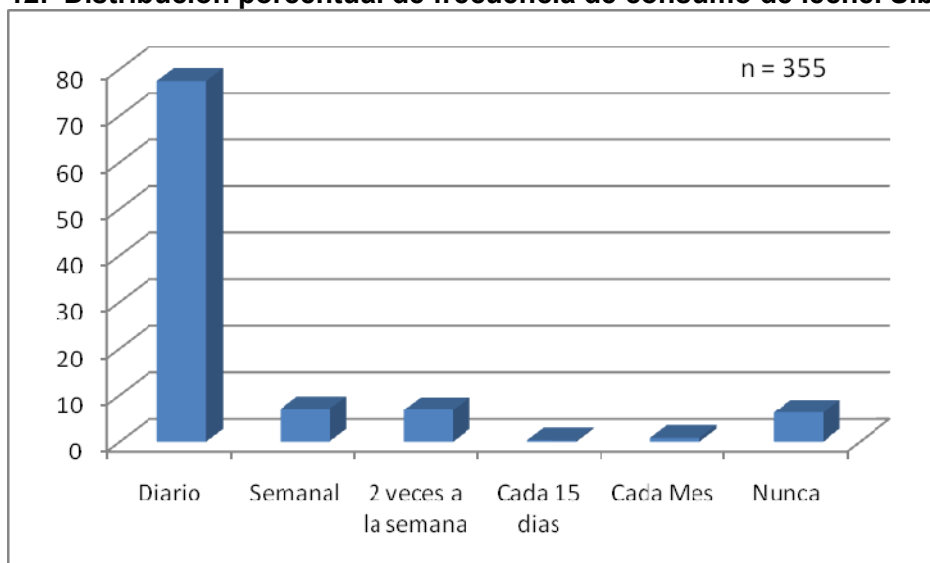
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 11. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de verduras. Sibate 2007**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibate INS 2007

**Gráfica 12. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de leche. Sibate 2007**



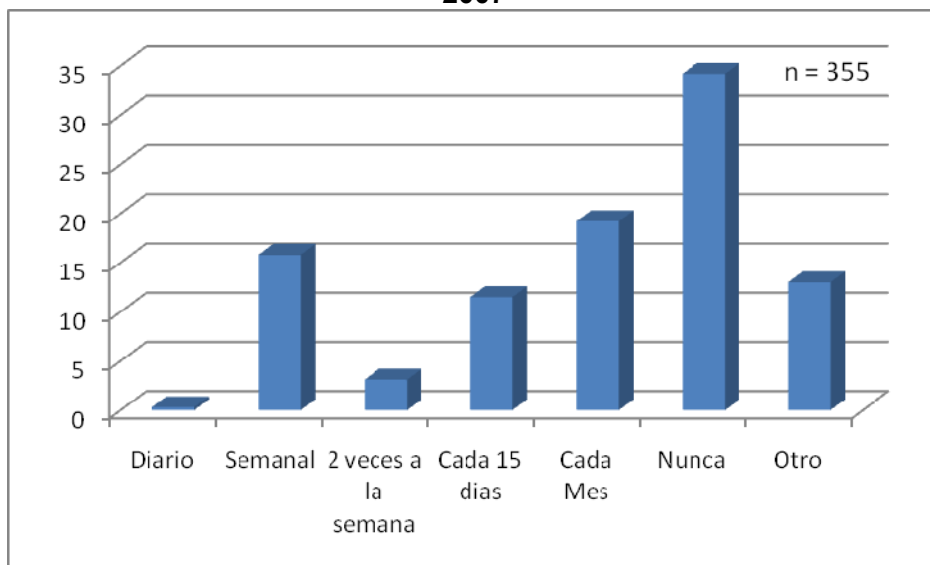
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibate INS 2007

El consumo diario de leche es un aspecto de importancia ya que el 56.3% (200) de la población, refiere consumir leche de cantina y aunque por las características del terreno son

muy pocas las vacas que se alimentan de pastos de terrenos cercanos al embalse, las reses asentadas en áreas aledañas pueden consumir aguas contaminadas, lo cual puede incrementar el riesgo de producir leche contaminada, especialmente con mercurio, como ocurrió en años anteriores en las vacas levantadas en áreas cercanas al río Bogotá.<sup>2</sup> El porcentaje restante consume leche de bolsa sometida a procesos industriales de control de calidad. En la Gráfica 12 se presenta la frecuencia de consumo de leche en los habitantes de Sibaté participantes en el estudio.

Con relación a los enlatados, la frecuencia de consumo es baja, lo cual reduce la posibilidad de comportarse como fuente significativa de metales pesados. En la Gráfica 13 se presenta su frecuencia de consumo.

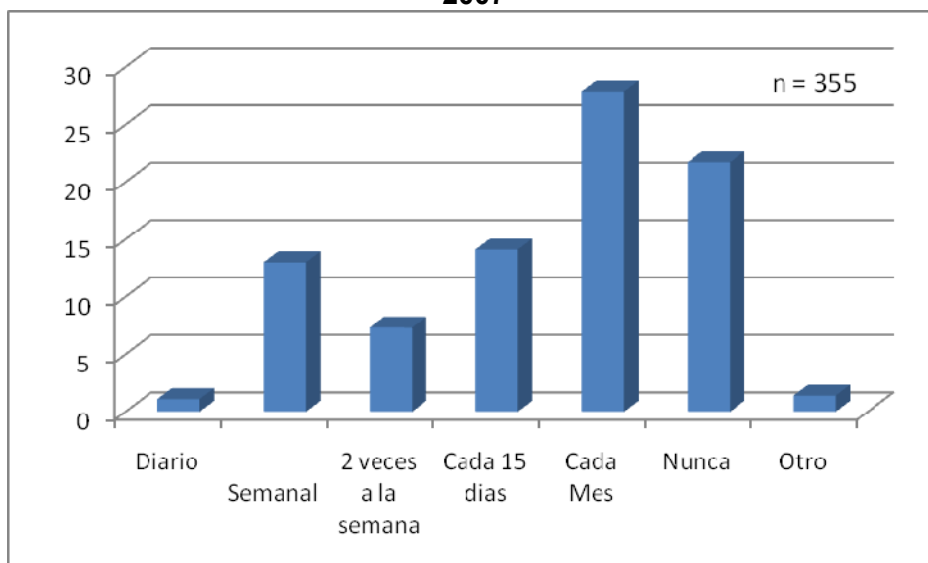
**Gráfica 13. Distribución porcentual de frecuencia de consumo de enlatados. Sibaté 2007**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

El consumo de otros alimentos potencialmente acumuladores de metales como los crustáceos, los hongos y el pescado, es relativamente bajo, lo cual puede estar asociado al elevado costo de los mismos, en relación con las condiciones socioeconómicas de la población. En la Gráfica 14 se presenta la frecuencia de consumo de pescado en los habitantes de Sibaté participantes en el estudio.

**Gráfica 14. Distribución porcentual de frecuencia de consumo pescado. Sibaté 2007**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

Con relación al consumo de agua, el acueducto municipal es la principal fuente de suministro, abasteciendo al 96 % (341) de los evaluados y solamente el 1.9% (7) reportó consumir agua de pozo manantial o quebrada, 2 de aljibe (0,5%) y 5 (1,41%) de otras fuentes.

#### 7.1.4 Variables Clínicas

##### Auto reporte de Síntomas

Durante la entrevista se solicitaba al participante que informara si en el último año había o no presentado de forma significativa alguno de los síntomas que se indagaban en la encuesta potencialmente relacionados con efectos tóxicos por exposición crónica a los tres tipos de sustancias en estudio (metales, solventes y plaguicidas). Para cada síntoma se explicaba detalladamente y se verificaba que el respectivo síntoma reportado no fuera explicado directamente por alguna patología específica. Este aspecto representó una especial dificultad, ya que muchas veces los pacientes no entendían este aspecto, omitían información o no recordaban claramente la presencia del síntoma, dificultando la validación de esta información a causa del sesgo de memoria.

Para evaluación de efectos crónicos de los metales pesados, se dio relevancia a los síntomas reportados para los sistemas nervioso y digestivo, debido a que la toxicidad por exposición crónica a los metales en estudio se manifiesta especialmente con alteraciones de tipo neurológico y gastrointestinal. En las Tabla 7 y Tabla 8 se presentan la distribución porcentual de los síntomas relacionados con estos sistemas.

**Tabla 7. Distribución porcentual de síntomas neurológicos reportados por los individuos evaluados**

| Signo/Síntoma  | Relación con |    |    | No. | %     |
|--|--------------|----|----|-----|-------|
|  | Pb           | Hg | Cd |     |       |
| Dolor de cabeza  | x            | x  |    | 168 | 47,32 |
| Alteraciones del humor   | x            | x  |    | 164 | 46,2  |
| Debilidad  | x            |    |    | 138 | 38,87 |
| Sensación de mareos  | x            | x  |    | 134 | 37,75 |
| Sensación de hormigueo en manos  | x            | x  |    | 128 | 36,06 |
| Dificultad para concentrarse   | x            | x  |    | 122 | 34,37 |
| Dolores o molestias en la espalda que no ceden con el descanso nocturno        | x            |    | x  | 110 | 30,99 |
| Perdida de memoria reciente  | x            | x  |    | 103 | 29,01 |
| Depresión  | x            | x  |    | 88  | 24,79 |
| Comerse sonidos o silabas  |              | x  |    | 85  | 23,94 |
| Sensación de hormigueo en pies   | x            |    |    | 82  | 23,1  |
| Sudoración   |              | x  |    | 81  | 22,82 |
| Insomnio   | x            | x  |    | 77  | 21,69 |
| Perdida de fuerza de miembros superiores                                       | x            |    |    | 77  | 21,69 |
| Perdida de fuerza de miembros inferiores                                       | x            |    |    | 72  | 20,28 |
| Perdida del equilibrio   | x            | x  |    | 51  | 14,37 |
| Dificultad para la marcha, caminar, subir, bajar escaleras, cruzar las piernas | x            |    |    | 37  | 10,42 |
| Desorientación   |              | x  |    | 32  | 9,01  |
| Escalofrío   |              | x  |    | 32  | 9,01  |
| Temblores  |              | x  |    | 30  | 8,45  |
| Hiposmia   |              | x  | x  | 29  | 8,17  |
| Convulsiones   | x            |    |    | 4   | 1,3   |

Fuente: Procesamiento estadístico base de datos encuestas individuales. Estudio Sibaté INS 2007



**Tabla 8. Distribución porcentual de síntomas digestivos reportados por los individuos evaluados**

| Signo/Síntoma          | Relación con |    |    | No. | %     |
|------------------------|--------------|----|----|-----|-------|
|                        | Pb           | Hg | Cd |     |       |
| Dolor Abdominal        | x            |    | x  | 97  | 27,32 |
| Sabor Metálico en boca | x            | x  |    | 85  | 23,94 |
| Sangrado encías        |              | x  |    | 84  | 23,66 |
| Nausea                 | x            | x  | x  | 80  | 22,54 |
| Inflamación de encías  |              | x  |    | 69  | 19,44 |
| Perdida de apetito     | x            | x  |    | 69  | 19,44 |
| Orina oscura           |              |    |    | 62  | 17,46 |
| Diarrea                | x            |    |    | 53  | 14,93 |
| Perdida de peso        | x            | x  |    | 52  | 14,65 |
| Salivación aumentada   |              | x  |    | 51  | 14,37 |
| Vomito                 | x            |    | x  | 22  | 6,2   |
| Heces claras           |              |    |    | 18  | 5,07  |
| Ictericia              |              |    |    | 16  | 4,51  |

Fuente: Procesamiento estadístico base de datos encuestas individuales. Estudio Sibaté INS 2007

Es importante mencionar que por su relevancia con las otras sustancias contaminantes incluidas en el estudio general (plaguicidas y solventes), se evaluó la presencia de síntomas dérmicos respiratorios, oculares y hematopoyéticos.

#### **7.1.5 Hallazgos del examen físico**

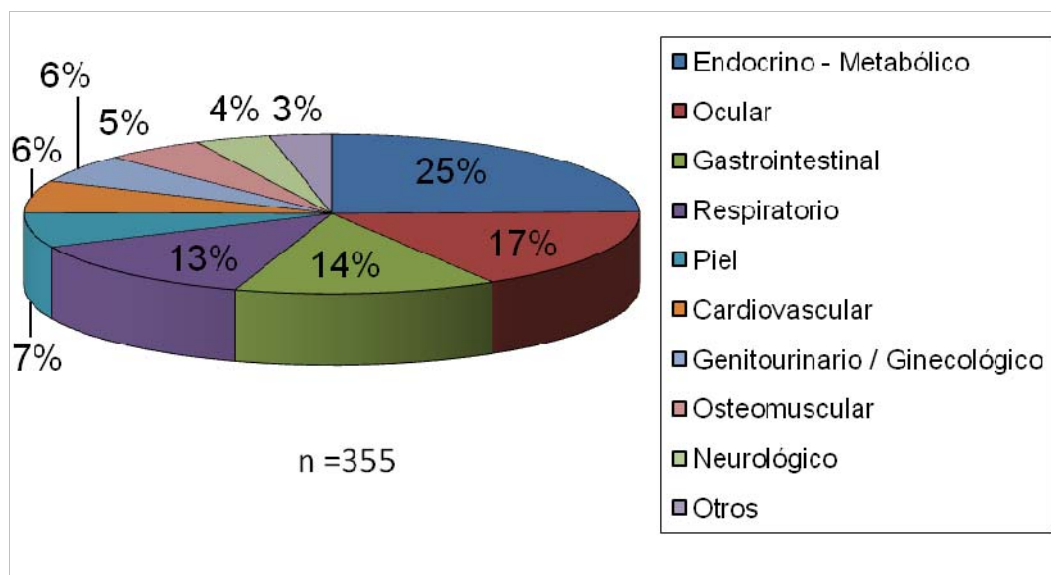
En la valoración médica no se identificó ninguno de los diagnósticos esperables derivados de la exposición crónica a metales pesados. No hubo casos de alteraciones neurológicas atribuibles a plomo o mercurio como neuropatía periférica, temblores, disminución en coordinación visomotora, tampoco se identificaron alteraciones gastrointestinales como gingivoestomatitis o dolor abdominal tipo cólico ni alteraciones músculo esqueléticas atribuibles al efecto toxico del cadmio. Efectos identificables en paraclínicos, como alteraciones en la función renal o el cuadro hemático no fueron evaluados. En el caso de patologías como la hipertensión arterial, potencialmente asociada a la exposición crónica

a plomo, se identificaron 14 pacientes (3.9%) con cifras elevadas, de estos, 11 pacientes (3.1 %) son hipertensos diagnosticados, con tratamiento irregular y el porcentaje restante corresponde a pacientes con cifra tensional elevada sin diagnostico de hipertensión.

La valoración general permitió identificar un total de 143 diagnósticos diferentes, distribuidos en 552 casos, teniendo en cuenta que podían existir varios diagnósticos para un solo paciente. Se realizó la agrupación de los mismos de acuerdo al sistema afectado, obteniendo la distribución porcentual que se presenta en la

Gráfica 15.

**Gráfica 15. Distribución de los Diagnósticos de la población evaluada según sistema afectado**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos encuestas individuales. Estudio Sibaté INS 2007

Posteriormente se seleccionaron los diez diagnósticos más frecuentes y se realizó su distribución por género y grupo de edad, tal como se presenta en la Tabla 9.

La ausencia de diagnósticos específicos relacionados con efectos tóxicos crónicos de los metales pesados en estudio, hace intuir que los niveles en sangre de los mismos, no iban

a presentar valores elevados y que estos no son un factor de impacto significativo para la salud de la población del municipio, lo cual a su vez, permite interpretar los hallazgos identificados como un comportamiento de la morbilidad general de los habitantes de Sibaté, el cual muestra una tendencia muy similar a la identificada en la población general del mismo rango de edad, en lo relacionado con condiciones patológicas como el sobrepeso, la obesidad, la dermatitis y la dispepsia; sin embargo, llama la atención el comportamiento de las alteraciones crónicas de tipo alérgico, con compromiso conjuntival y nasal, las cuales presentan una mayor proporción que lo esperado para la población general<sup>60</sup>, y hacen pensar en la posibilidad de la presencia de un factor que explique las mismas.

**Tabla 9. Distribución de los diagnósticos más frecuentes por género y grupo de edad en los individuos evaluados**

| Diagnóstico                            | EDAD    |     |    |     |         |     |    |      | Total | %    |
|--|---------|-----|----|-----|---------|-----|----|------|-------|------|
|  | 10 - 19 |     |    |     | 20 - 49 |     |    |      |       |      |
|  | M       | %   | F  | %   | M       | %   | F  | %    |       |      |
| <b>Sobrepeso</b>                       | 1       | 0.2 | 4  | 1.1 | 15      | 4.2 | 47 | 13.2 | 67    | 18.8 |
| <b>Conjuntivitis Alérgica Crónica</b>  | 16      | 4.5 | 3  | 0.8 | 16      | 4.5 | 26 | 7.3  | 61    | 17.1 |
| <b>Paciente Sano</b>                   | 11      | 3.1 | 11 | 3.1 | 7       | 1.9 | 13 | 3.6  | 42    | 11.8 |
| <b>Rinitis Alérgica Crónica</b>        | 9       | 2.5 | 5  | 1.4 | 3       | 0.8 | 19 | 5.3  | 36    | 10.1 |
| <b>Obesidad</b>                        | 0       | 0   | 0  | 0   | 2       | 0.5 | 33 | 9.2  | 35    | 9.8  |
| <b>Dispepsia</b>                       | 1       | 0.2 | 1  | 0.2 | 2       | 0.5 | 22 | 6.1  | 26    | 7.3  |
| <b>Dermatitis de contacto en manos</b> | 1       | 0.2 | 0  | 0   | 9       | 2.5 | 12 | 3.3  | 22    | 6.1  |
| <b>Vaginosis Bacteriana</b>            | 0       | 0   | 2  | 0.5 | 0       | 0   | 17 | 0.4  | 19    | 5.3  |
| <b>Pterigios</b>                       | 0       | 0   | 0  | 0   | 2       | 0.5 | 16 | 4.5  | 18    | 5    |
| <b>Hipertensión Arterial</b>           | 0       | 0   | 0  | 0   | 3       | 0.8 | 11 | 3.1  | 14    | 3.9  |
| <b>Cefalea tipo migraña</b>            | 0       | 0   | 0  | 0   | 0       | 0   | 12 | 3.3  | 12    | 3.3  |
| <b>Dolor Abdominal Inespecífico</b>    | 0       | 0   | 2  | 0.5 | 0       | 0   | 7  | 1.9  | 9     | 2.5  |

### 7.1.6 Niveles de metales pesados

Una vez realizado el análisis de las muestras de sangre, se identificó que ninguna de ellas excedía los parámetros de referencia de normalidad para los metales en estudio. Los valores reportados como no detectados corresponden a niveles que se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica analítica. Para cadmio se identificaron valores en un rango de 3,0 a 54,9 nmol/L con un promedio de 14,2; solamente se identificó un valor superior al considerado como normal para no fumadores, el cual correspondía a un fumador activo. Con relación al mercurio, el rango de valores osciló entre 1,7 y 13,5 µg/L. con un promedio de 4,06, mostrando un comportamiento que intuye una baja exposición a dicho metal, pero teniendo en cuenta que la evaluación en sangre no es la mejor estrategia para la vigilancia de la exposición crónica al mercurio. Para el plomo se registró un promedio 0.009 mg/dL, con un rango de 0.003 a 0.035 mg/dL. Los resultados de los análisis para cada metal se presentan en las Tabla 10, Tabla 11 Tabla 12.

**Tabla 10. Resultados de los análisis de Cadmio en sangre de los habitantes de Sibaté 2007**

| <b>CADMIO</b>                | <b>CATEGORIA</b> | <b>VALOR</b> | <b>No.</b> | <b>%</b>    |
|------------------------------|------------------|--------------|------------|-------------|
| <b>Valor normal</b>          | No fumadores     | < 45 nmol/L  | <b>147</b> | <b>41.4</b> |
|                              | Fumadores        | < 90 nmol/L  | <b>41</b>  | <b>11.6</b> |
| <b>Valores anormales</b>     | No fumadores     | >45 nmol/L   | <b>0</b>   | <b>0</b>    |
|                              | Fumadores        | >90 nmol/L   | <b>0</b>   | <b>0</b>    |
| <b>Valores no detectados</b> | Límite detección | < 3nmolL     | <b>167</b> | <b>47</b>   |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |              | <b>355</b> | <b>100</b>  |

Fuente:

Valores de referencia: Centro de toxicología de Quebec.

Resultados procesamiento analítico: Instituto Nacional de Salud, Estudio Sibaté 2007

**Tabla 11. Resultados de los análisis de Mercurio en sangre de los habitantes de Sibaté 2007**

| MERCURIO              | CATEGORIA            | VALOR      | No.        | %          |
|-----------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| Valor Normal          | Exposición ambiental | <20 µg/L   | 167        | 47.1       |
| Valor Anormal         |                      | >20 µg/L   | 0          | 0          |
| Valores no detectados | Limite de detección  | < 1.7 µg/L | 188        | 52.9       |
| <b>TOTAL</b>          |                      |            | <b>355</b> | <b>100</b> |

Fuente:

Valores de referencia: Centro de toxicología de Quebeq.  
Resultados procesamiento analítico: Instituto Nacional de Salud, Estudio Sibaté 2007

**Tabla 12. Resultados de los análisis de Plomo en sangre de los habitantes de Sibaté 2007.**

| PLOMO                 | CATEGORIA                             | VALOR               | No.        | %          |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|------------|------------|
| Valor Normal          | Población no expuesta                 | <0.038 mg/dL        | 257        | 72.4       |
|                       | Población ocupacionalmente expuesta   | 0.039 – 0.066 mg/dL | 0          | 0          |
| Valor Anormal         | Población no expuesta                 | >0.038 mg/dL        | 0          | 0          |
|                       | Absorción peligrosa                   | 0.067 – 0.076 mg/dL | 0          | 0          |
|                       | Absorción compatible con intoxicación | >0.077 mg/dL        | 0          | 0          |
| Valores no detectados | Limite de detección                   | <0.003 mg/dL        | 98         | 27.6       |
| <b>TOTAL</b>          |                                       |                     | <b>355</b> | <b>100</b> |

Fuente:

Valores de referencia: Centro de toxicología de Quebeq.  
Resultados procesamiento analítico: Instituto Nacional de Salud, 2007

Con los datos reportados, se puede establecer que el plomo es el metal mas frecuentemente identificado en los habitantes de Sibaté (72.4%), lo cual permite establecer que puede existir una mayor exposición al mismo. Por su parte el cadmio y el mercurio se encontraron presentes, por debajo de los valores de riesgo, en un 53% y

47.1% de los habitantes respectivamente. Con los datos obtenidos a partir de los casos en los que se detectaron niveles de metales, se realizó la revisión de su comportamiento estadístico, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13. Comportamiento estadístico de los niveles de metales en sangre de los habitantes de Sibaté con valores superiores al límite de detección e inferiores al límite de referencia**

| Metal           | n   | Nivel en sangre |       |       |          |       |        |        |
|-----------------|-----|-----------------|-------|-------|----------|-------|--------|--------|
|                 |     | Mediana         | p25   | p75   | Promedio | DS    | IC 95% |        |
|                 |     |                 |       |       |          |       | IC inf | IC sup |
| <b>Cadmio</b>   | 188 | 11.9            | 6.45  | 20.8  | 14.5     | 10.2  | 13.06  | 16.02  |
| <b>Mercurio</b> | 167 | 3.5             | 2.6   | 5     | 4.02     | 2.1   | 3.74   | 4.41   |
| <b>Plomo</b>    | 257 | 0.008           | 0.005 | 0.012 | 0.009    | 0.006 | 0.008  | 0.010  |

Cadmio: unidades expresadas en nmol/L. Mercurio: unidades expresadas en µg/L. Plomo: unidades expresadas en mg/dl

Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

## 7.2 Análisis Bivariado

El hecho de haber identificado que en todos los pacientes los niveles de los tres metales pesados en estudio se encontraban por debajo del límite inferior considerado como seguro, motivó un replanteamiento del manejo que se le debía realizar a los datos obtenidos, debido a que en principio no se contempló la posibilidad de que todos los valores se hallaran por debajo de los límites de referencia, y se partía de un planteamiento hipotético en el cual los habitantes del municipio presentaban niveles elevados de los metales por efecto de la exposición a la contaminación.

El comportamiento general de las variables permitió descartar algunas que no son de interés y otras que sí. Esta situación llevó a pensar que si no existen alteraciones significativas en los niveles de metales, sería muy poco probable identificar relaciones entre dichos niveles y las variables a estudio. De todos modos, por tratarse de un estudio de características exploratorias, se efectuaron los cruces entre los niveles de cada metal y las respectivas variables de interés que de acuerdo a su comportamiento y características, se consideraron posiblemente relacionadas con la exposición a los

metales en estudio, de acuerdo a lo reportado por la literatura. Se incluyeron en dicho análisis bivariado la edad, el género, la cercanía al embalse, la localización de la vivienda y diferentes variables específicas para cada metal, con el fin de establecer tendencias que permitieran identificar comportamientos particulares para los diferentes metales y las variables en estudio. Así mismo se efectuó el cruce entre los niveles de metales y los síntomas principalmente asociados, sin encontrar ningún tipo de relación.

Con relación al **cadmio**, se identificó un comportamiento muy similar de los niveles en ambos grupos de edad, sin diferencia de género. No se encontró ninguna asociación entre los niveles de este metal y el consumo de verduras y crustáceos, o la ubicación rural o urbana de la vivienda. El comportamiento de los promedios de estas variables en relación a los niveles en sangre del metal se presentan en la Tabla 14

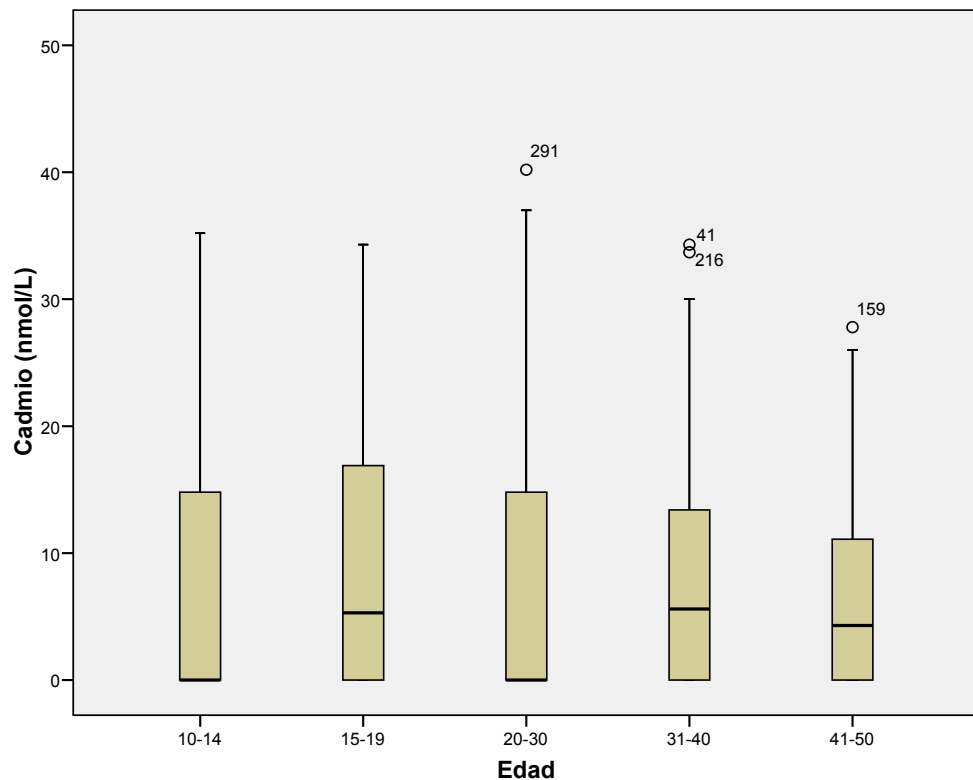
**Tabla 14. Comportamiento de los promedios de niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés**

| Variable              | Niveles de cadmio en sangre ug/dl |     |     |      |          |      |
|-----------------------|-----------------------------------|-----|-----|------|----------|------|
|                       | Categoría                         | n   | Min | Max  | promedio | DS   |
| Edad                  | 10 – 19                           | 34  | 3.4 | 54.9 | 15.5     | 11.8 |
|                       | 20 – 49                           | 154 | 3.0 | 65.9 | 14.3     | 9.9  |
| Genero                | M                                 | 46  | 3.0 | 54.9 | 15.9     | 11.9 |
|                       | F                                 | 142 | 3.2 | 65.9 | 14.1     | 9.7  |
| Cercanía al embalse   | Ribereño                          | 57  | 3.2 | 37   | 14.3     | 9.5  |
|                       | Cercano                           | 98  | 3.0 | 54.9 | 14.1     | 10.1 |
|                       | Lejano                            | 33  | 4.2 | 65.9 | 16       | 12.1 |
| Localización Vivienda | Rural                             | 32  | 3.5 | 37   | 13.2     | 10.4 |
|                       | Urbana                            | 156 | 3.0 | 65.9 | 14.8     | 10.3 |
| Fumador               | Si                                | 41  | 3.2 | 54.9 | 17.6     | 12.1 |
|                       | No                                | 147 | 3.0 | 65.9 | 13.7     | 9.5  |
| Consumo verduras      | >1 vez semana                     | 157 | 3.0 | 65.9 | 14.3     | 9.8  |
|                       | <1 vez semana                     | 26  | 3.2 | 54.9 | 14.6     | 13.1 |
|                       | Nunca                             | 5   | 6.2 | 30.7 | 21.2     | 9.7  |

Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

Las graficas de cajas y bigotes permitieron identificar tendencias como una discreta diferencia de los niveles de quienes habitan en la rivera del embalse con respecto a las otras localizaciones, sin embargo se documentaron casos aislados de niveles discretamente mayores en los habitantes del área cercana. Con respecto a los fumadores, se identificó una tendencia a presentar niveles de cadmio mas elevados que los no fumadores, los cuales incrementan en relación a la frecuencia de consumo de cigarrillo. Las tendencias de los comportamientos de los niveles de metales y las variables de interés se presentan en las Gráfica 16, Gráfica 17, Gráfica 18, Gráfica 19 y Gráfica 20.

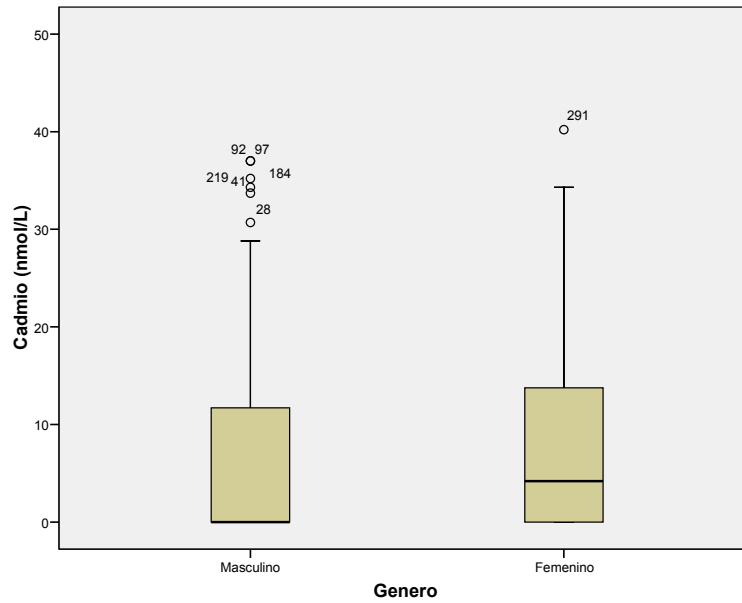
**Gráfica 16. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

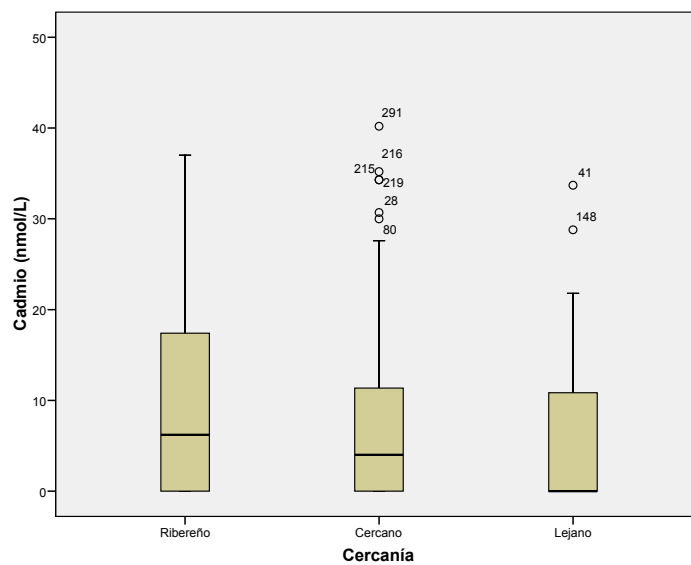


**Gráfica 17. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con el género**



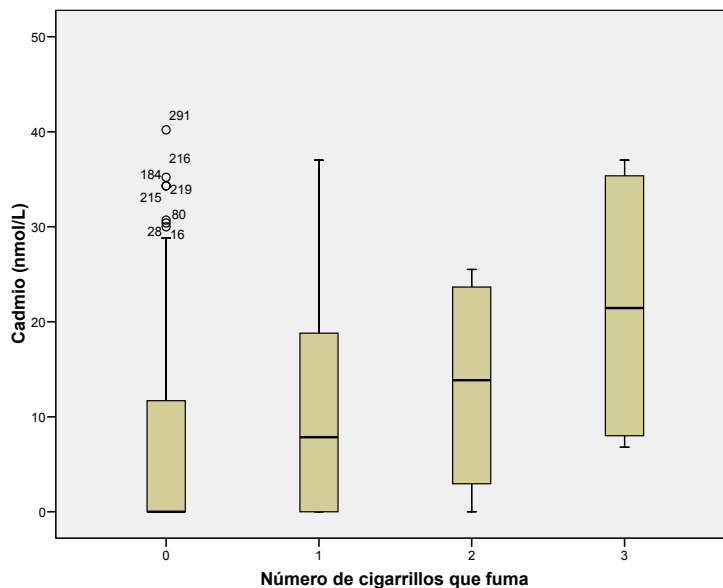
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 18. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse**



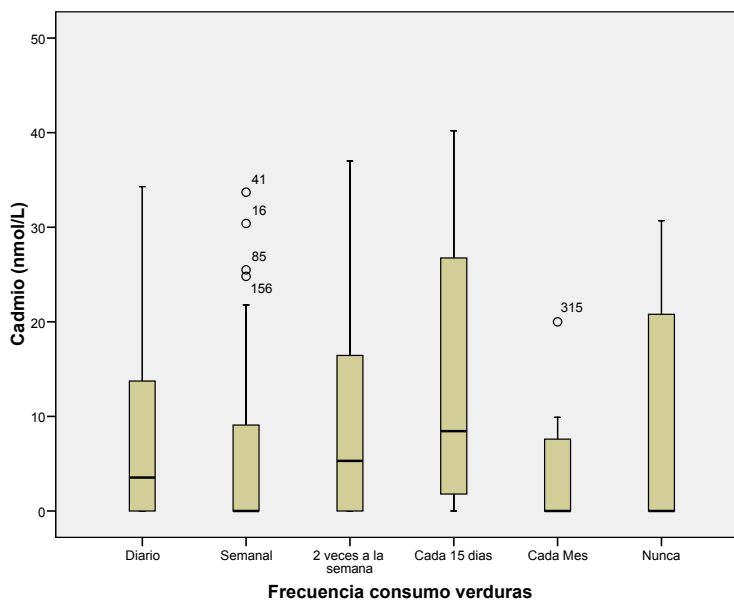
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 19. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté fumadores y su relación con el numero de cigarrillos que fuman**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 20. Comportamiento de los niveles de cadmio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de verduras**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

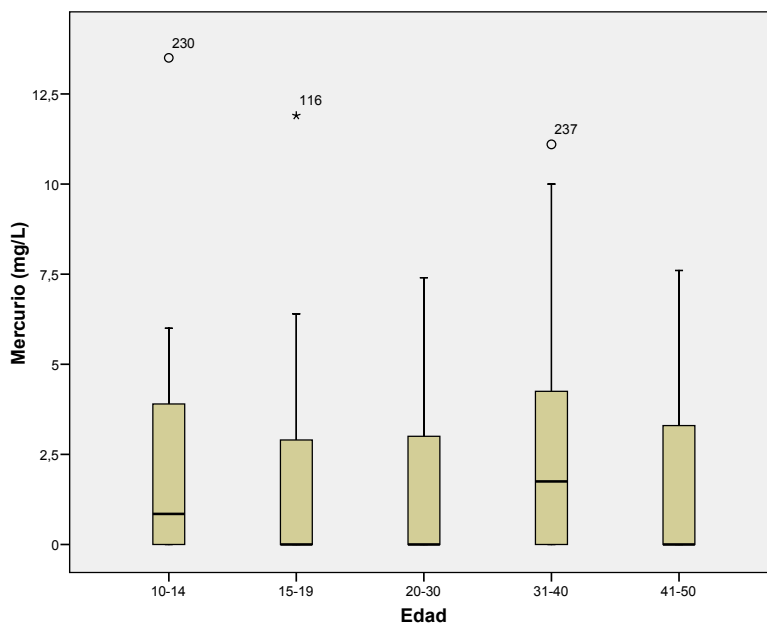
Los niveles de **mercurio** (asociados en mayor proporción a la exposición a sus sales inorgánicas), presentaron un comportamiento promedio muy similar para todas las variables evaluadas y tampoco se encontró ningún tipo de asociación entre sus niveles y el género, la cercanía al embalse y el consumo leche. Solamente se identificó un nivel discretamente mayor en aquellos que consumen pescado diariamente. Los datos correspondientes a las variables de interés y su relación con los niveles de mercurio se presentan en la Tabla 15 y en las Gráfica 21, Gráfica 22, Gráfica 23, Gráfica 24 y Gráfica 25.

**Tabla 15. Comportamiento de los promedios de niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés**

| Variable              | Niveles de mercurio en sangre ug/dl |     |     |      |          |      |
|-----------------------|-------------------------------------|-----|-----|------|----------|------|
|                       | Categoría                           | n   | Min | Max  | promedio | DS   |
| Edad                  | 10 – 19                             | 37  | 1.7 | 13.5 | 4.4      | 2.6  |
|                       | 20 – 49                             | 131 | 1.7 | 24.3 | 4.2      | 2.7  |
| Genero                | M                                   | 58  | 1.7 | 10.3 | 4.2      | 2.1  |
|                       | F                                   | 110 | 1.7 | 24.3 | 4.4      | 2.9  |
| Cercanía al embalse   | Ribereño                            | 37  | 1.7 | 8.8  | 4        | 2.09 |
|                       | Cercano                             | 92  | 1.7 | 13.5 | 4.3      | 2.4  |
|                       | Lejano                              | 39  | 1.7 | 24.3 | 4.1      | 3.6  |
| Localización Vivienda | Rural                               | 45  | 1.7 | 8.8  | 3.5      | 1.7  |
|                       | Urbana                              | 123 | 1.7 | 24.3 | 4.5      | 2.9  |
| Consumo leche         | >1 vez semana                       | 153 | 1.7 | 24.3 | 4.2      | 2.7  |
|                       | <1 vez semana                       | 3   | 2.9 | 4.8  | 3.8      | 0.98 |
|                       | Nunca                               | 12  | 1.7 | 6.7  | 4.1      | 1.6  |

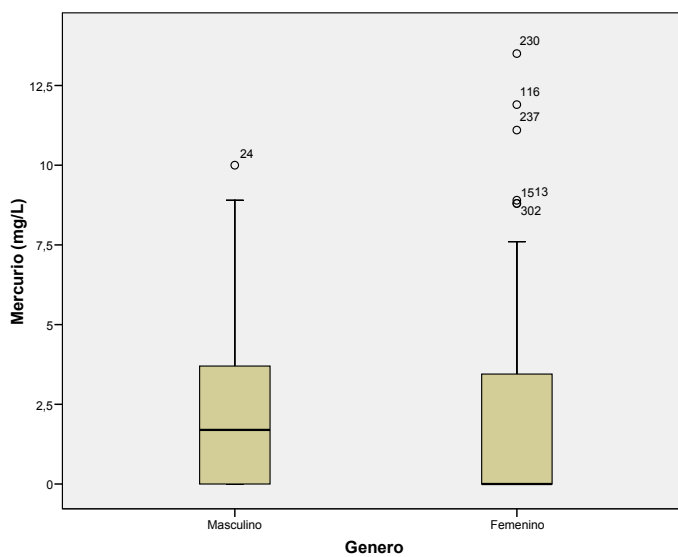
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 21. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad**



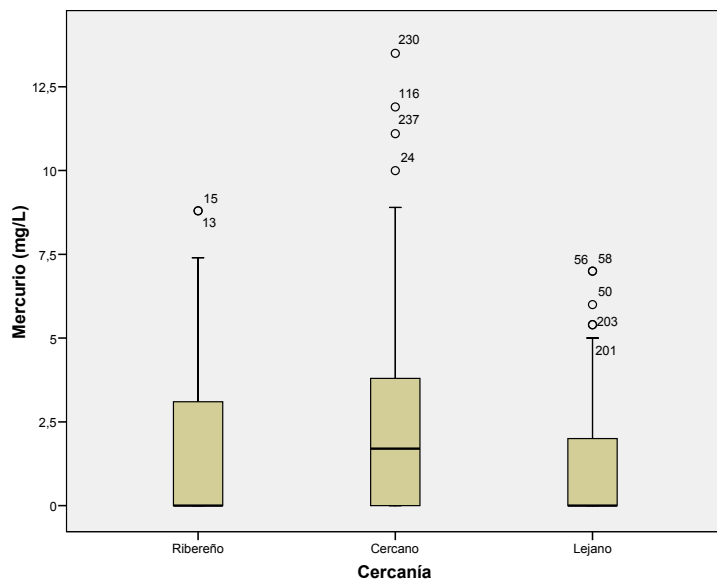
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 22. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes géneros**



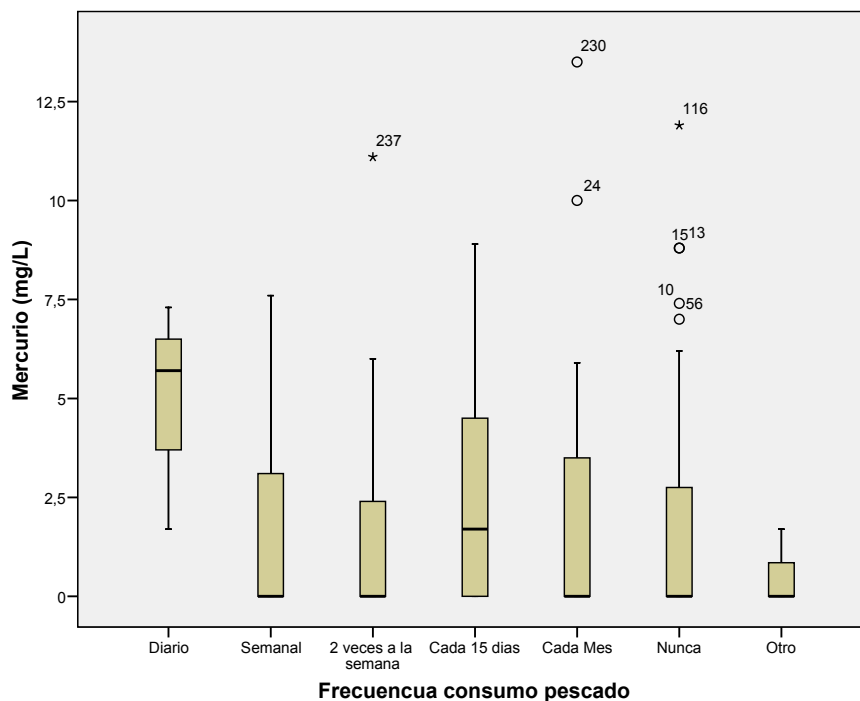
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 23. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse**



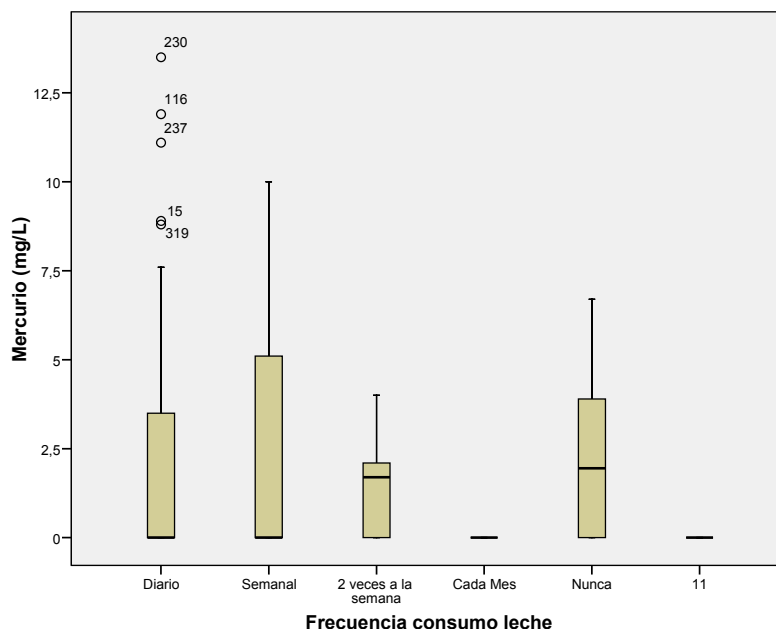
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 24. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de pescado**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 25. Comportamiento de los niveles de mercurio en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de leche**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

Con respecto al **plomo**, el cual fue el metal que presentó el comportamiento más interesante debido a su mayor frecuencia de detección y al espectro de los valores identificados, no se encontró asociación entre sus niveles en sangre y el género, tiempo de residencia en el municipio o la ubicación rural o urbana de la vivienda. Tampoco se encontró asociación entre los niveles de plomo y el consumo de enlatados y verduras.

El procesamiento estadístico y las graficas de cajas y bigotes permitieron identificar una tendencia a presentar niveles similares en los diferentes grupos de edad, cuando se esperaba encontrar niveles más bajos en la población más joven; así mismo se documentó una relación de asociación significativa entre los niveles del metal y la localización de la vivienda con relación al perímetro del embalse encontrando que quienes viven en las áreas ribereñas del mismo, presentaron niveles superiores en relación a quienes habitan en las áreas cercanas y lejanas del mismo; aunque las diferencias entre los mismos son pequeñas, ninguno presentó valores superiores a los de referencia.

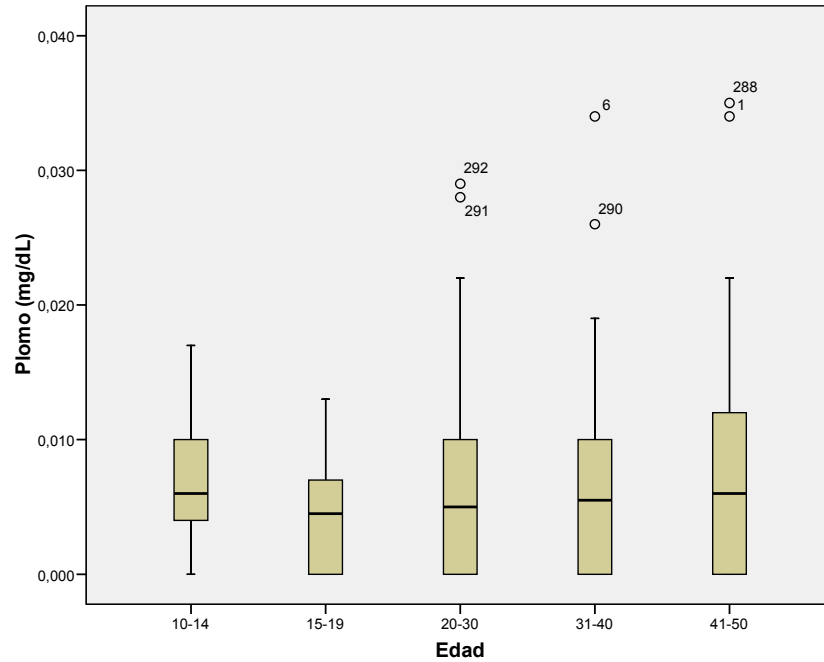
En la Tabla 16 se presentan los comportamientos estadísticos de los cruces realizados y en las Gráfica 26, Gráfica 27, Gráfica 28, Gráfica 29 y Gráfica 30 el comportamiento de las relaciones entre los niveles del metal en sangre y las variables de interés.

**Tabla 16. Comportamiento de los promedios de niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté de acuerdo con las variables de interés**

| Variable              | Niveles de plomo en sangre ug/dl |     |       |       |          |        | p     |
|-----------------------|----------------------------------|-----|-------|-------|----------|--------|-------|
|                       | Categoría                        | n   | P25   | P75   | promedio | DS     |       |
| Edad                  | 10 – 19                          | 57  | 0.005 | 0.011 | 0.0088   | 0.048  | 0.786 |
|                       | 20 – 49                          | 200 | 0.005 | 0.011 | 0.0095   | 0.061  |       |
| Genero                | M                                | 90  | 0.005 | 0.012 | 0.0095   | 0.058  | 0.553 |
|                       | F                                | 167 | 0.005 | 0.012 | 0.0093   | 0.059  |       |
| Cercanía al embalse   | Ribereño                         | 79  | 0.007 | 0.015 | 0.012    | 0.063  | 0.001 |
|                       | Cercano                          | 110 | 0.05  | 0.010 | 0.0083   | 0.05   |       |
|                       | Lejano                           | 68  | 0.05  | 0.010 | 0.0080   | 0.04   |       |
| Localización Vivienda | Rural                            | 70  | 0.05  | 0.011 | 0.0088   | 0.057  | 0.278 |
|                       | Urbana                           | 187 | 0.05  | 0.012 | 0.0095   | 0.059  |       |
| Consumo enlatados     | >1 vez semana                    | 49  | 0.004 | 0.011 | 0.010    | 0.0075 | 0.717 |
|                       | <1 vez semana                    | 118 | 0.005 | 0.011 | 0.009    | 0.005  |       |
|                       | Nunca                            | 81  | 0.005 | 0.012 | 0.010    | 0.005  |       |
| Consumo verduras      | >1 vez semana                    | 214 | 0.005 | 0.012 | 0.009    | 0.005  | 0.674 |
|                       | <1 vez semana                    | 34  | 0.004 | 0.011 | 0.009    | 0.007  |       |

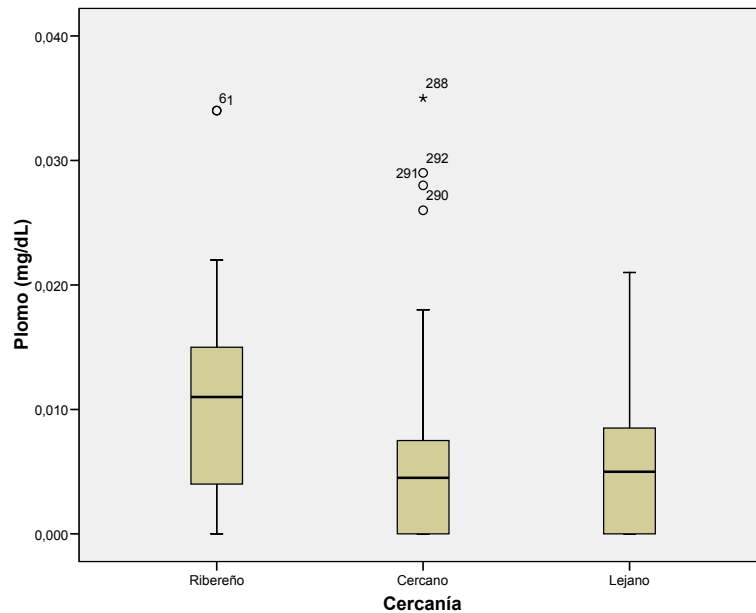
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 26. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con los diferentes grupos de edad**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

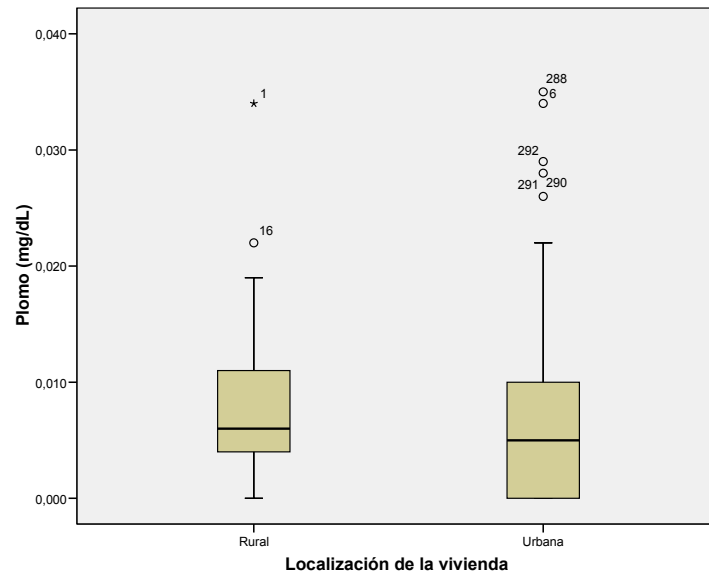
**Gráfica 27. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la cercanía al embalse**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

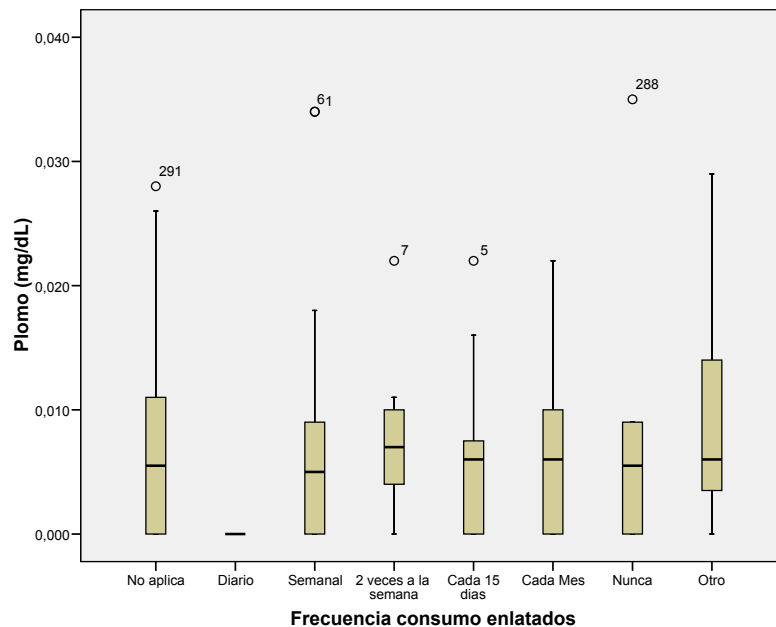


**Gráfica 28. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la localización de la vivienda**



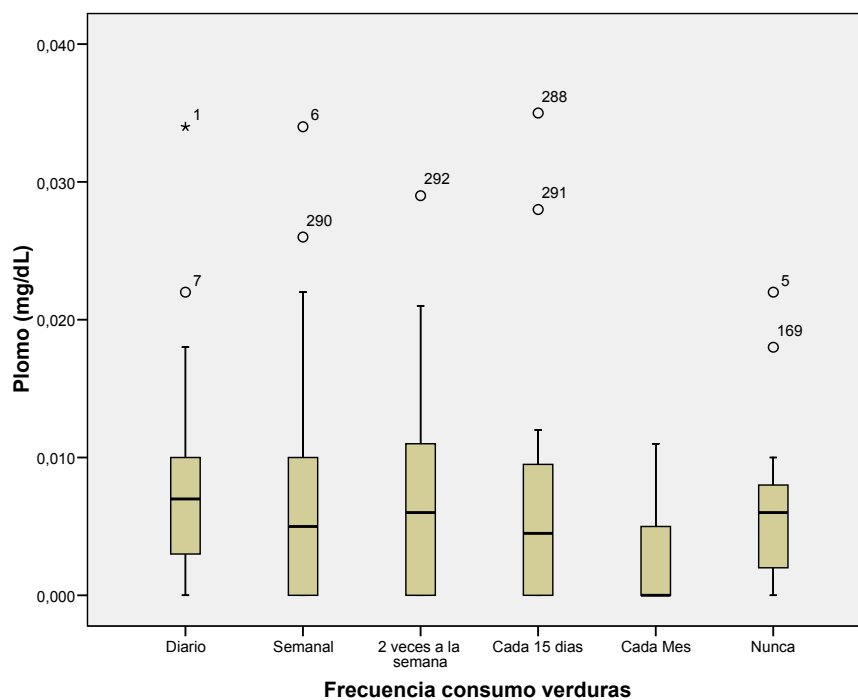
Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 29. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con la frecuencia de consumo de enlatados**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

**Gráfica 30. Comportamiento de los niveles de plomo en sangre en los habitantes de Sibaté y su relación con las diferentes frecuencias de consumo de verduras**



Fuente: Procesamiento estadístico base de datos. Estudio Sibaté INS 2007

Con respecto a los diagnósticos clínicos obtenidos y a los niveles de los diferentes metales, no se realizó ninguna comparación, ya que de acuerdo a la evidencia de la literatura científica, y a excepción de la hipertensión, no existe ninguna relación causa efecto entre los niveles obtenidos y los hallazgos clínicos identificados.

## 8. DISCUSIÓN

La problemática del impacto a la salud por la contaminación ambiental existente en el municipio de Sibaté es un fenómeno multicausal, sin embargo la cercanía del embalse con el municipio es el factor de riesgo con más peso en esta situación. Es innegable que la presencia de contaminantes que desde su nacimiento se van depositando en las aguas del río Bogotá, puedan indefectiblemente, terminar llegando a las aguas del embalse del muña, y por ende, afectar el ecosistema circundante. Para el caso de los metales pesados, factores como la variación en las descargas de contaminantes, las modificaciones estacionales de los niveles hídricos, la dirección del flujo de las aguas y la frecuencia del bombeo, entre otros, pueden hacer que fluctúen las condiciones de exposición a los mismos.

A pesar de que para los habitantes del municipio de Sibaté es claro que la presencia del embalse del muña en cercanías del mismo es una condición que tiene la capacidad de influir negativamente sobre su salud, existe desconocimiento del impacto potencial que la exposición crónica a metales pesados, puede originar sobre la misma, por lo cual le dan mayor relevancia al impacto que algunos contaminantes más evidentes como los plaguicidas, los malos olores, e inclusive, los zancudos, pueden originar sobre la salud.

La población evaluada es una población joven, de predominio femenino, localizada principalmente en las áreas surorientales cercanas al embalse correspondientes al área urbana del municipio, con una menor proporción residiendo en zonas lejanas al mismo. Es una población estable, con un promedio de tiempo de residencia en el municipio superior a 20 años, factor que contribuye a una exposición acumulada considerable a los factores contaminantes del ambiente. Pertenece en su mayoría a un nivel socioeconómico medio bajo y bajo, lo que a su vez se comporta como factor de riesgo, ya que en caso de disponer de mejores condiciones económicas, podría optar por buscar otro lugar de habitación diferente al municipio de Sibaté o sus alrededores, y reducir su exposición a la contaminación.

La exposición ocupacional a metales pesados en la población evaluada es muy baja, debido a que se realizan muy pocas actividades con exposición a metales. La exposición por vía alimentaria, que puede ser una de las vías de mayor importancia para la población, es factible que provenga esencialmente del consumo de frutas y verduras producidas localmente, ya que pueden estar potencialmente contaminadas con los metales, al ser regadas con aguas contaminadas del embalse, además de que son los productos más frecuentemente consumidos. Sin embargo, a pesar de estas consideraciones, el comportamiento de los niveles de metales no mostró ninguna tendencia particular relacionada con el tipo y frecuencia de consumo de alimentos.

Las condiciones de contaminación del embalse hacen imposible la supervivencia de peces en el mismo y eliminan la posibilidad de la pesca en sus aguas, reduciendo a cero el riesgo de consumo de pescado proveniente del embalse y potencialmente contaminado con mercurio. Sin embargo se identificó que quienes reportaron un consumo diario de pescado, presentan una media de niveles de mercurio, superior a la del resto de la población, lo cual puede llevar a pensar que el pescado comercializado en Sibaté provenga de alguna región donde la contaminación por mercurio favorezca la bioacumulación.

Con relación a los síntomas, al momento de plantear relaciones entre las condiciones de salud y los niveles en sangre de metales, se esperaba identificar una relación entre los tres aspectos, sin embargo, no se identificó ningún comportamiento sintomático particular a nivel de los diferentes sistemas evaluados, relacionado con alteraciones clínicas asociadas a exposición a niveles elevados de metales pesados, debido a que estas tampoco se identificaron, sin embargo si se documentó un porcentaje considerablemente elevado de reporte de síntomas de compromiso neurológico y respiratorio, posiblemente asociados a diferentes condiciones clínicas originadas por situaciones propias de cada paciente. Frente a los síntomas respiratorios, es viable atribuir la presencia de los mismos al efecto de las patologías irritativas de vía respiratoria alta documentadas en la valoración médica. Este hallazgo contribuye a fortalecer el planteamiento de que factores relacionados con el deterioro de la calidad del aire del municipio, ocasionado por las emanaciones gaseosas provenientes del embalse a causa de la degradación de la

materia orgánica, puedan estar generando un impacto considerable en la salud de los sibateños.

Con respecto a los hallazgos del examen físico, se documentó una prevalencia de alteraciones irritativas crónicas del tracto respiratorio superior, discretamente superior a la esperada para la población general, el resto de hallazgos identificados corresponden a patologías frecuentes en la población general y que no se relacionan con la exposición a los metales a estudio.

El hecho de no haber encontrado ningún caso con niveles de metales pesados superiores a los establecidos como seguros permite considerar la posibilidad que estos contaminantes no estén generando un impacto significativo en la morbimortalidad de los sibateños. Este hallazgo es consistente con la ausencia de identificación clínica de diagnósticos específicos asociados a la exposición crónica a metales, sin embargo hay que tener en cuenta que algunos de estos efectos son difíciles de evaluar clínicamente y requieren un estudio mas profundo con paraclínicos y pruebas que permitan determinar cambios de tipo sutil, especialmente en aspectos neurológicos como el desempeño intelectual y la capacidad auditiva, o alteraciones renales y hematológicas identificables únicamente por pruebas funcionales específicas. Este aspecto se comporta como una limitante del presente estudio ya que pueden estarse presentando alteraciones sutiles sobre la salud de los sibateños, ocasionadas por una exposición crónica a bajos niveles que no son identificadas en una valoración medica. Además de lo anterior y teniendo en cuenta las características de comportamiento biológico de los metales, una sola determinación de niveles en sangre no es suficiente para distinguir apropiadamente entre una exposición de bajo nivel, una exposición crónica o una exposición aguda <sup>63</sup>.

Al realizar el análisis de tendencias de niveles de metales y su relación con algunas de las variables de interés, se pudo documentar que las personas que habitan en las áreas rivereñas del embalse, presentan niveles discretamente mas altos de plomo que quienes residen en las áreas cercanas y lejanas.

Con relación a la edad y por las características de bioacumulación de los metales pesados, era esperable encontrar niveles discretamente superiores en la población de

mayor edad, con respecto a los mas jóvenes, sin embargo, para los tres metales se identificó un comportamiento homogéneo de los niveles en los diferentes grupos de edad, e inclusive, con el plomo, la media del grupo de menor edad fue muy similar a la del grupo de mayor edad, lo cual lleva a pensar que se esté presentando exposición discreta al plomo por alguna vía desde los primeros años de vida.

No se identificó ninguna tendencia anormal de los niveles de cadmio y plomo, en relación con el consumo de verduras; tampoco ninguna relación entre el consumo de enlatados y niveles de plomo, frecuencia de consumo de leche y niveles de mercurio, lo cual permite concluir que las características de la frecuencia y tipo de alimentación de los habitantes de Sibaté no se está comportando como un factor relevante para la exposición a metales pesados. Para el cadmio fue evidente la clara relación existente entre el consumo de cigarrillo y mayores niveles de cadmio. No se documentó relación entre la presencia de hipertensión y los niveles de plomo.

Si bien es cierto que aparentemente los metales no están generando un efecto significativo en la salud de la población, los niveles de metales obtenidos por el presente estudio muestran un incremento en los promedios, con relación a los datos reportados por el estudio del grupo de Salud pública de la Universidad Nacional realizado en la misma zona hace aproximadamente 10 años. Para entonces el cadmio presentaba un valor promedio de 7.66 nmol/L, el cual se duplicó en el presente estudio, encontrándose con un valor de 14.5 nmol/L. El plomo también mostró un incremento, pasando de valores promedio hace 10 años de 0.005 mg/dl a un nivel promedio de 0.009 mg/dl. Con respecto al mercurio, no es posible obtener un patrón de comparación, ya que el estudio del grupo de salud pública utilizó mercurio en cabello, y el presente estudio evaluó los niveles en sangre. Estos hallazgos plantean la posibilidad de que la exposición de los habitantes de Sibaté al plomo y al cadmio, se ha incrementado parcialmente.

En general la mayoría de estudios poblacionales que han evaluado este tipo de metales, son consistentes en identificar niveles mas elevados de plomo en género masculino y en poblaciones de mayor edad, niveles mayores de cadmio en población fumadora y niveles mayores de mercurio en población que consume pescado frecuentemente <sup>64-65</sup>. Los

hallazgos del presente estudio, presentan un comportamiento similar, a excepción del comportamiento de los niveles de plomo en los grupos de menor edad, que como ya se comento previamente, puede indicar la presencia de una fuente de exposición a plomo significativa para la población.

Un aspecto que merece particular atención son los parámetros de niveles en sangre utilizados como referencia, especialmente los de plomo, ya que los valores aceptados a nivel nacional y utilizados en este estudio, deben ser revisados y actualizados, conforme a los hallazgos de investigaciones que han documentado efectos neurológicos sutiles e irreversibles tras la exposición a niveles superiores a  $10\mu\text{g/dL}$  en niños menores de 8 años, y riesgo de efectos significativos a nivel hematológico, cardiovascular y renal en adultos expuestos a niveles superiores a  $30\mu\text{g/dL}$ , lo cual ha llevado a la reducción de los valores de plomo en sangre considerados como seguros y sobre los cuales se tenga que tomar acciones en salud pública, especialmente frente a población infantil.<sup>38, 42, 66, 67</sup>

Es por esto que se hace necesario reducir los niveles de referencia de plomo que se utilizan en el país, ya que pueden estarse presentando casos de exposición a bajas dosis, que inadvertidamente pueden considerarse como normales, cuando realmente requieren acciones de intervención, especialmente en la población infantil. La Agencia Norteamericana de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), reporta que para el año 2002 la media geométrica para el plomo en la población norteamericana de 20 a 59 años es  $1.5\ \mu\text{g/dl}$ . Comparando dichos valores y efectuando la respectiva conversión, la media geométrica para la población sibateña de ese grupo de edad es mayor, presentando un promedio de  $7\ \mu\text{g/dl}$ , potencialmente atribuible a contaminación de origen ambiental.

Con relación al mercurio, la ATSDR reporta que los niveles promedio en sangre en la población general de Estados Unidos se encuentran en un rango de rango de  $1$  a  $8\mu\text{g/L}$ <sup>51</sup>, frente a este valor los habitantes de la población de Sibaté registran un valor de  $4.02\ \mu\text{g/L}$  lo cual hace que se encuentren dentro del rango considerado como normal.

Para el Cadmio, ATSDR reportó para 2005 un percentil 50 de los niveles en sangre de los adultos estadounidenses en 0.300 µg/L, que corresponde aproximadamente a 2.72 nmol/L<sup>53</sup>. La población evaluada en Sibaté presentaba un nivel de 14.5 nmol/L que corresponde a 1.59 µg/L, el cual es mayor al promedio reportado en EEUU, sin embargo ATSDR considera que la exposición ambiental a cadmio puede elevar los niveles en sangre a valores cercanos a 10 µg/L. (90 nmol/L).

Aprovechando la información disponible y a manera de ejercicio académico científico, se tomaron los valores de plomo obtenidos en la presente investigación y se compararon con los valores de referencia para plomo que maneja el CDC<sup>40</sup> (Centro de control de enfermedades), en los cuales se considera que niveles superiores a 10 µg/dL en niños menores de 8 años, implican la necesidad de intervención debido al riesgo de efectos neurológicos sutiles. Se logró identificar que 24 individuos, correspondientes al 30% del total de individuos del grupo de edad de 10 a 19 años (77), presentan valores que se pueden considerar como justificables para una intervención, especialmente revisiones y modificaciones en su entorno, de acuerdo a los datos señalados en gris en la Tabla 17. Con relación al grupo de edad de 20 a 49 años, se debería tomar una conducta similar para los 12 individuos que presentan niveles superiores a 20 µg/dL.

**Tabla 17. Distribución de casos por rango de edad de acuerdo a los niveles de plomo en sangre propuestos por CDC**

| Rango de edad | Nivel de plomo en sangre en µg/dL |           |           | TOTAL      |
|---------------|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|
|               | 5 - 9                             | 10-19     | 20-39     |            |
| 10-19         | 23                                | 22        | 2         | 47         |
| 20-49         | 83                                | 69        | 12        | 164        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>106</b>                        | <b>91</b> | <b>14</b> | <b>211</b> |

Zona Gris: Numero de individuos con niveles de plomo superiores a 10 µg/dL. de acuerdo a CDC

Fuente: Adaptado por el autor a partir de los datos identificados y las referencias 38, 42 y 43

La presencia de estos niveles en el grupo de 10 a 19 años abre la posibilidad de que los habitantes de Sibaté menores de 10 años, se están exponiendo niveles de plomo que pueden generar efectos significativos sobre su normal desarrollo neurológico, y generando un importante riesgo de deterioro permanente sobre su coeficiente intelectual.



De cualquier manera y a pesar de no haber identificado efectos clínicos y de no superar los niveles considerados como seguros por los parámetros usados en la presente investigación, es necesario plantear la realización de un monitoreo biológico periódico a los habitantes del municipio, que permita evaluar el comportamiento de los niveles de los metales utilizando patrones de referencia más estrictos y comparándolos con los resultados de pruebas paraclínicas específicas que permitan identificar alteraciones originadas por exposiciones a bajas dosis de metales pesados, cuya posible fuente de exposición pueda ser controlada, como especialmente lo son el consumo de aguas subterráneas procedentes de pozos cercanos al embalse y uso que se le da a las aguas del embalse para el riego de terrenos y cultivos aledaños. El estudio más detenido de esta situación es de importancia en salud pública, ya que se sabe que gran parte de la producción agrícola del municipio es llevada a centros de acopio de la capital para ser comercializada, haciendo factible que por la potencial contaminación del suelo, dichos alimentos presenten niveles importantes de metales y los consumidores frecuentes de productos agrícolas procedentes de Sibaté, puedan estar en riesgo de verse afectados por consumir dichos vegetales contaminados con metales pesados.

La ausencia de hallazgos clínicos atribuibles a los efectos tóxicos de los metales en estudio, se relaciona claramente con la ausencia de niveles elevados de dichos metales. Por su parte, los síntomas como rinitis, disnea y tos, se relacionan con las alteraciones más frecuentemente identificadas en el examen médico, correspondientes al compromiso irritativo crónico de las mucosas conjuntival y respiratoria. Esta situación puede ser explicada por la exposición constante a un aire de mala calidad, contaminado por las emanaciones gaseosas provenientes del embalse, derivadas de la descomposición de materia orgánica en el cuerpo de agua.

Esta situación merece un especial interés, ya que de acuerdo a las condiciones químicas de degradación del material orgánico, el azufre y sus derivados como el disulfuro de hidrogeno y los mercaptanos, son algunos de los principales componentes de los vapores emanados por el embalse. Este tipo de sustancias se caracterizan por presentar un desagradable olor a huevo podrido (fácilmente perceptible en cercanías del embalse), y por ser más pesados que el aire, lo cual hace que permanezcan cerca del nivel del suelo,

además, de acuerdo a las condiciones atmosféricas presentan una importante capacidad de persistencia en el ambiente aéreo (18 horas)<sup>68</sup>. Teniendo en cuenta que su producción es permanente en proporción variable de acuerdo a las condiciones bioquímicas y atmosféricas, se configura un escenario de exposición constante a concentraciones bajas de este tipo de vapores, haciendo que incremente el riesgo de efectos adversos para la salud por exposición a los mismos<sup>69</sup>.

La exposición a concentraciones bajas (10 ppm) de disulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S), se ha asociado con efectos crónicos sobre el sistema nervioso, como cefaleas recurrentes, trastornos del estado de ánimo, alteraciones en la memoria y alteraciones neurocomportamentales. También se asocia a insomnio y pérdida de apetito<sup>70</sup>. Este fenómeno también podría contribuir a la explicación de los principales síntomas neurológicos reportados, relacionados con efectos crónicos sobre el sistema nervioso central, tras la exposición a gases derivados de azufre.<sup>70</sup>

La situación identificada en el municipio de Sibaté es consonante con la situación reportada a nivel nacional en la encuesta de condiciones de salud y ambiente <sup>71</sup>, en la cual se reporta que la calidad del aire es un factor determinante de la salud de la población. Para el municipio la situación es mas critica, ya que además de la contaminación del aire proveniente de la zona industrial ubicada en cercanías del municipio, cuentan con otro foco de contaminación como lo es el embalse del muña, el cual emana permanentemente una gran cantidad de gases de diferente tipo.

Esto hace que sea importante realizar un estudio que evalúe la calidad del aire en el municipio y permita caracterizar las emanaciones provenientes del embalse, con el fin de correlacionar estos hallazgos con sus posibles efectos a la salud derivados de la exposición crónica, así como plantear medidas de intervención que permitan evitar que se perpetúe esta situación potencialmente lesiva para la salud pública de los sibateños.

Asociado a lo anterior, se presentan dos situaciones que se comportan como factor agravante de la calidad del aire y su potencial impacto en la salud. Como primer aspecto las condiciones geográficas de las áreas aledañas del cuerpo de agua del embalse, hacen que el recambio y recirculación del aire de estas zonas sea escaso, dificultando la

transcurrencia de las corrientes de aire y haciendo que el desplazamiento del aire sea escaso, y por la densidad del mismo, permanezca en cercanías del nivel del suelo; y segundo, el uso frecuente de insecticidas a nivel domiciliario y la practica de permanecer en los hogares con las ventanas cerradas para evitar el ingreso de zancudos y malos olores, favorece la contaminación intramural, potenciando la recirculación de virus y la inhalación de los insecticidas caseros.

Finalmente se considera necesario fortalecer las acciones encaminadas a la descontaminación del río Bogotá, cuya contaminación es la principal causa generadora de condiciones insalubres en los alrededores del embalse del muña.

## 9. CONCLUSIONES

La determinación de los niveles de plomo, mercurio y cadmio en sangre con los parámetros utilizados en el presente estudio, no registró ningún caso que superara los valores de referencia establecidos como seguros. Es de resaltar que el promedio de los valores obtenidos para el cadmio y el plomo fue mayor al reportado por un estudio realizado diez años atrás en la misma zona.

No se presentó un comportamiento particular de los síntomas reportados que permitiera intuir un posible efecto toxico crónico de los metales en estudio; tampoco se identificó ningún hallazgo clínico asociado al efecto tóxico de la exposición a los metales en estudio, ni se logró establecer una vía de exposición específica.

No se documentó ningún efecto clínico asociado a la exposición a los metales estudiados. Se identificó una prevalencia incrementada de alteraciones irritativas de vías respiratorias superiores, especialmente conjuntivitis y rinitis alérgica crónica, al parecer relacionada directamente con la calidad del aire en la zona

Estos hallazgos permiten concluir que la contaminación por metales pesados del cuerpo de agua del embalse del muña, no se comporta como un factor que esté generando un deterioro evidente de la salud de la población; sin embargo no se descarta la existencia de efectos sutiles derivados de la exposición a dosis bajas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - Secretaría Distrital de Ambiente. Calidad del Sistema Hídrico de Bogotá. 2008
2. Pérez, Alonso. El problema del Rio Bogotá. Capítulo 5. Fuente: [www.alverde vivo.org/Documentos/El%problema%riobogota](http://www.alverde vivo.org/Documentos/El%problema%riobogota)
3. Ministerio de Agricultura. Decreto 1594 de 1984. República de Colombia
4. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Acuerdo 0043 de 2006
5. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Conpes. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Documento 3320. Estrategia para manejo ambiental del Río Bogotá. Diciembre 6 de 2004.
6. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Aspectos Técnicos en el análisis de saneamiento del Rio Bogotá. Fuente: [www.acueducto.gov.co](http://www.acueducto.gov.co) Agosto 2004.
7. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Resolución 4337 del 19 de Agosto de 1990.
8. EMGESA - Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de ingeniería civil y ambiental. Saneamiento ambiental del embalse del muña. Vol 1 Noviembre 1998.
9. Pachón, J. Estudio Exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables en cuatro municipios de Cundinamarca. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería civil y Agrícola. 2004.
10. Sarmiento M. I., Idrovo A. J., Restrepo M., Díaz M. P., González A. Evaluación del Impacto de la Contaminación del Embalse del Muña Sobre la Salud Humana. Revista de Salud Pública, 1999;1(2).
11. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Perfil Sibaté Censo Nacional 2005.

12. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Municipio de Sibaté 2002.
13. Pontificia Universidad Javeriana Departamento Ingeniería Civil - Microbiología Empresa de Acueducto de Bogotá. Monitoreo y diagnóstico calidad de agua analizando aspectos biológicos y sus impactos a la salud de las comunidades 2003 – 2004.
14. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente. Calidad del sistema hídrico de Bogotá. Agosto 2008. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
15. Toro, MC. Estudio Físicoquímico y biológico del embalse del muña. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Informe 1994.
16. EMGESA. Plan de seguimiento y monitoreo al plan de acción ambiental embalse Del muña. Informe. Agosto 2007.
17. Vega, R. Gutiérrez, M. Biogeografía de un sistema acuático – Embalse del Muña. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 1984.
18. Gobernación de Cundinamarca. Secretaria de Salud. Indicadores Municipios. [http://www.cundinamarca.gov.co/cundinamarca/admin/frm\\_verarcs.asp?tablas=FILEO\\_OTRSS\\_ECCIONES&llave=209](http://www.cundinamarca.gov.co/cundinamarca/admin/frm_verarcs.asp?tablas=FILEO_OTRSS_ECCIONES&llave=209)
19. Secretaria Municipal de Salud de Sibaté. Análisis de la Situación de Salud del Municipio de Sibaté Año 2006. Enero 2007.
20. Goyer, R. Toxic and essential metal interactions Annu. Rev. Nutr. 1997. 17:37–50.
21. López S., Ayala L. F. Contaminación y Depuración de Suelos. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Capítulo 3. Dinámica de metales pesados en suelos. Pags. 49 – 58. Madrid.1995.
22. Manahan S. Environmental chemistry. 2005. CRC Press. Eight Edition. EE UU. Capítulo 23 Pag 655.
23. Organización Internacional del Trabajo. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. Capítulo 53. Riesgos ambientales para la salud. Pag 18. 2001.
24. Arce, O. Contaminantes peligrosos en el agua. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad de San Simón. Informe. Bolivia. 2005.

25. Metcalf, S. Orloff, K. Biomarkers of exposure in community settings. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 67:715–726, 2004
26. Florea, A. Dietrich, B. Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds. *BioMetals* (2006) 19:419–427
27. Philiph, R. *Ecosystems and Human Health. Toxicology and Environmental Hazards. Capitulo 6. Paginas 148 – 150. Segunda Edición. Lewis Publishers. 2001.*
28. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1999. Perfil Toxicológico del Plomo (en inglés). Sección 3. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
29. Schwartz, B. Hu, H. Adult Lead Exposure: Time for Change. *Environmental Health Perspectives • Volume 115 | Number 3 | March 2007.*
30. Goldfrank LR, Lewin NA, Flomenbaun . *Toxicologic emergencies. Octava Edición. McGraw Hill 2006 Capítulos 87 (1274-1278), 91 ( 1308-1321 ), 92 (1334-1342)*
31. Barile, F. *Clinical Toxicology. Principles and Mechanisms. CRC Press. 2004. Capitulo 24. Pags (308-310).*
32. Garza, A. Vega, R. Soto, E. Cellular mechanisms of lead neurotoxicity *Med Sci Monit*, 2006; 12(3): Pags 57-65
33. Needleman, H The health effects of low level exposure to lead *Annu. rev. publ. health.* 1991. 12:111-40.
34. Gidlow, D. Lead toxicity. *Occupational Medicine, Vol. 54 No. 2 2004; 76–81*
35. Greenberg, M. Hamilton, L. Philips, McCluskey. *Occupational, Industrial and Environmental Toxicology. Capítulos 30 (Pags 318 - 319) y 37 (Pags 392 – 395). Segunda Edición. Mosby.2002.*
36. Navas-Acien, A. Guallar, E. Silbergeld, E. Rothenberg, S. Lead Exposure and Cardiovascular Disease. A Systematic Review. *Volume 115. Number 3. | March 2007 • Environmental Health Perspectives. 472 – 482.*

37. Ja-Liang L, Dan-Tzu, L, Kuang-Hung, H.Chun-Chen, Y. Environmental Lead Exposure and Progression of Chronic Renal Diseases in Patients without Diabetes. *New England Journal Medicine* Vol 348; Number 4. Pags. 277-286. 2003.
38. CDC (Centers for Disease Control and Prevention). Adult blood lead epidemiology and surveillance - United States 2002. *Morb Mortal Weekly Report* 53(578–582). 2004.
39. Tong, S. Von Schirnding, Y. Prapamontol, T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78 (9).
40. Córdoba, D. Toxicología. Quinta edición, 2006. Manual Moderno. Bogotá, Colombia. Capítulos 34 (Paginas 293 – 300) y 41 (Paginas 337 – 343).
41. Kosnett, M. Wedeen, R. Rothenberg, S. Hipkins, K. Materna, B. Schwartz, B. Hu, H. Woolf, A. Recommendations for Medical Management of Adult Lead Exposure *Environmental Health Perspectives*. Volume 115. Number 3. | March 2007.
42. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. Interpreting and Managing Blood Lead Levels <10 µg/dL in Children and Reducing Childhood Exposures to Lead: Recommendations of CDC's Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention. November 2, 2007 / Vol. 56 / No. RR-8.
43. Albiano, N. Toxicología Laboral. Criterios para la vigilancia de trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Capítulo 1 Paginas 21–24, 40– 43 y 47-50. Argentina 2001.
44. Wright, David A. *Environmental Toxicology*. Chap 6. Metals and others inorganic chemicals Pags (274 – 284). Port Chester, NY, USA. Cambridge University Press. 2001
45. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Manejo de Mercurio en la Minería de Oro en Colombia con fines preventivos. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible.2007.
46. De Azevedo, F. Toxicología do Mercurio. Capítulos 5 (Pag 106),9 (Pags 179 – 183) y 10 (Pags 194 – 196). Intertox. Rima Editora. 2003.
47. Baselt, Randall. Cravey, Roberth. *Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man*. Pags (461-463) Fourth Edition. Chemical Toxicology Institute. Foster City. California. 1995.
48. Boelsterli, U. *Mechanistic toxicology*. Capítulo 2 (Pags 15 – 17). Taylor & Francis. 2002.
49. Clarkson, T.W. and Magos, L. (2006) The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit. Rev. Toxicol.* **36**:609– 662.



50. Clarkson TW, Magos L, Myers GJ. The toxicology of mercury--current exposures and clinical manifestations *N Engl J Med*. 2003 Oct 30;349(18):1731-7.
51. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1999. Perfil Toxicológico del Mercurio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
52. Bello J, López A. Fundamentos de Ciencia Toxicológica. Capitulo 10. Pág. 232. Díaz de Santos, 2001. ISBN 84-7978-472-5. Madrid, España.
53. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2008. Borrador actualizado del Perfil Toxicológico del Cadmio .Seccion 3. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
54. Klaassen,C. Watkins, J. Cassarett y Doull. Fundamentos de Toxicología. Capitulo 23. Pag. 359. McGrawHill. 2005.
55. Alfvén, T Järup, T. Elinder, C. Cadmium and Lead in Blood in Relation to Low Bone Mineral Density and Tubular Proteinuria. *Environmental Health Perspectives*. Volume110. Number 7. July 2002.
56. M. Trzcinka-Ochocka, M. Jakubowski, G. Razniewska, T. Halatek, and A. Gazewski. The effects of environmental cadmium exposure on kidney function: the possible influence of age. *Environmental Research* 95 (2004) 143–150.
57. Griffin, J. Walker, L. Lee, A. Osborne, D. Shore, R. Nicholson, J. The initial pathogenesis of cadmium induced renal toxicity. *Federation of European Biochemical Societies. Letters* 478 (2000) 147 – 150.
58. Tang, W. Sadovic, S. Zahir A. Shaikh, W. Nephrotoxicity of Cadmium-Metallothionein: Protection by Zinc and Role of Glutathione. *Toxicology and applied pharmacology* 151, 276–282 (1998)
59. Repetto,M. Toxicología Avanzada Capitulo 10, Paginas 397 - 399. Díaz de Santos. 2005.
60. Johannes Godt, J. Scheidig, F. Grosse-Siestrup, C. Esche, V. Brandenburg, P. Reich, A. Groneberg, D. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 2006, 1:22

61. Podlesky, E. Ortiz, J. de García, G. Manual de procedimientos para la determinación de trazas de metales en muestras biológicas y ambientales. Red Nacional de Laboratorios. Instituto Nacional de Salud. Septiembre de 1992.
62. Sibbald B. Epidemiology of allergic rhinitis. *Epidemiology of clinical allergy. Monographs in Allergy.* Basel: Karger, 1993;61-79.
63. U. Ewers á C. Krause á C. Schulz á M. Wilhelm. Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins *Int Arch Occup Environ Health* (1999) 72: 255±260.
64. McKelvey, W, Charon Gwynn, R. Jeffery, N. Kass, D. Thorpe, L. Garg, R Palmer, C. Parsons,P A Biomonitoring Study of Lead, Cadmium, and Mercury in the Blood of New York City Adults. *Environmental Health Perspectives.* Vol 115 Number 10 Oct 2007 Pags 1435 – 1441
65. Farzin, L. Amiri, M. Shams, H. Ahmadi, M. Esmail, M. Blood Levels of Lead, Cadmium, and Mercury in Residents of Tehran. *Biological Trace Element Research.* Volume 123, Numbers 1-3 / junio de 2008
66. Järup, L. Hazards of heavy metal contamination *British Medical Bulletin*, Vol. 68 © The British Council 2003.
67. Shih RA, Hu H, Weisskopf MG, Schwartz BS. Cumulative lead dose and cognitive function in adults: a review of studies that measured both blood lead and bone lead. *EnvironHealth Perspect* 115: 483 – 492 2007.
68. International Programme on Chemical Safety Concise International Chemical Assessment Document # 53. Hydrogen sulfide: Human health aspects. Paginas 15 - 17 World Health Organization 2003.
69. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for hydrogen sulfide. September 2004.

70. Legator MS Singleton CR Morris DL Philips DL Health effects from chronic low-level exposure to hydrogen sulfide. [Archives of environmental health] 2001 Mar-Apr; 56(2):123-31.
71. Sanchez-Traiana, E. Ahmed,K. Awe,Y. Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. Un análisis ambiental de país para Colombia. Banco Mundial.2007