



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

---

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE  
ANTIMONIO, BARIO Y PLOMO DE ORIGEN OCUPACIONAL Y SU  
RELACIÓN CON LOS OBTENIDOS EN DISPARO DE ARMA DE  
FUEGO POR ABSORCIÓN ATÓMICA ELECTROTÉRMICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTAN

JAZMIN MIXTECO HERNÁNDEZ  
JAZMIN IVON PAEZ MORENO

DIRECTOR DE TESIS: DRA. ALBERTA LOURDES CASTILLO GRANADA  
ASESOR EXTERNO: QFB. RAÚL MORALES AGUSTÍN



MÉXICO D. F.

NOVIEMBRE DE 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**Gracias** a Dios por ponerme en este camino y hacerme llegar al final.

A mi familia por todo el apoyo y por ser la inspiración y motor más grande para hacer realidad este sueño.

A la Dra. Alberta Lourdes Castillo Granada por su tiempo, dedicación y por ser la mejor guía.

A todos mis amigos por acompañarme en este camino, y a usted que sé que como lo prometió estará conmigo...

Atte:

Jazmin I. Paez Moreno

**GRACIAS**

*Al Señor Sergio Mixteco Pérez †*  
*A la Señora Luminosa Hernández Pérez*  
Por darme la vida

*A Sergio Mixteco Hernández*  
*Coral Mixteco Hernández*  
*Alondra Mixteco Hernández*  
Por su incondicional apoyo

*A Dra. Alberta Lourdes Castillo Granada*  
Por sus enseñanzas no solo académicas

*A Antonio Morales Galindo*  
Por ser además de mi amor, mi compañero, mi socio y mi mano derecha

*A Antonio Morales Mixteco*  
Por llegar y ser el motivo más grande que tengo para vivir

Atentamente  
*Jazmin Mixteco Hernández*

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	2
1. ARMA DE FUEGO .....	2
2. CARTUCHO.....	3
3. RESIDUOS POR DISPARO DE ARMA DE FUEGO .....	6
4. TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE RESIDUOS POR DISPARO DE ARMA DE FUEGO .....	9
5. PLOMO (Pb).....	26
6. BARIO (Ba).....	29
7. ANTIMONIO (Sb).....	30
8. CANTIDADES DE PLOMO BARIO Y ANTIMONIO ESPERADOS AL EFECTUAR DE ARMA DE FUEGO .....	33
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	41
IV. OBJETIVOS.....	41
V. HIPÓTESIS.....	42
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
MATERIAL REACTIVOS E INSTRUMENTOS.....	42
METODOLOGÍA.....	43
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	46
VII. RESULTADOS .....	47
PERSONAS QUE POR SUS ACTIVIDADES NO SE ENCUENTRAN EN CONTACTO DIRECTO CON PLOMO, BARIO Y ANTIMONIO (NORMALES) .....	47
PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE ALBAÑILERÍA (ALBAÑILES)..	49
PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE ELECTRICIDAD (ELECTRICISTAS) .....	51
PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE VENTA DE GASOLINA (GASOLINEROS) .....	54

PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE HERRERÍA (HERREROS).....	57
PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE MECÁNICA (MECÁNICOS).....	60
VENEDORES DE PINTURA.....	62
PERSONAS DEDICADAS AL OFICIO DE PIROTÉCNICA (PIROTÉCNICOS).....	64
VIII. DISCUSIÓN.....	68
IX. CONCLUSIONES.....	71
X. PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES.....	72
XI. ANEXOS.....	73
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	87

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los principales problemas de la sociedad es la violencia; el uso desmedido de armas de fuego hace necesario el desarrollo de técnicas y métodos que nos permitan determinar si una persona ha accionado un arma de este tipo.

Las técnicas que se utilizan para caracterizar los indicios de los hechos involucran disciplinas como la química, biología, física, toxicología, informática, balística, odontología y medicina legal, principalmente. Dentro de estas disciplinas la química analítica desempeña un papel importante.

Al disparar un arma de fuego, la mano y los alrededores del ejecutante son maculados por gases que conforman un cono posterior de deflagración, estos gases son derivados nitrados provenientes de la pólvora además de residuos de metales como son el antimonio, bario y plomo. Partiendo de esto, varias técnicas analíticas están enfocadas a la cuantificación de estos tres elementos metálicos teniendo como objetivo encontrar la relación entre la persona que efectuó el tiro y el arma.

El plomo, bario y antimonio además de ser residuos característicos que quedan depositados en la mano de la persona que dispara un arma de fuego, se encuentran en la atmósfera ya sea de forma natural o adicionada como resultado de diferentes actividades laborales.

Ante este hecho se hace evidente la necesidad de conocer la relación de concentración entre palma y dorso en ambas manos para diferenciar los residuos de plomo, bario y antimonio de origen ambiental u ocupacional de los debidos a disparo de arma de fuego, de esta manera eliminar la posibilidad que en el esclarecimiento de un delito se tengan resultados falsos positivos.

En el presente trabajo experimental se desarrollará el método analítico para la cuantificación de plomo, bario y antimonio en muestras de palma y dorso de manos de personas con diferente actividad laboral empleando la técnica

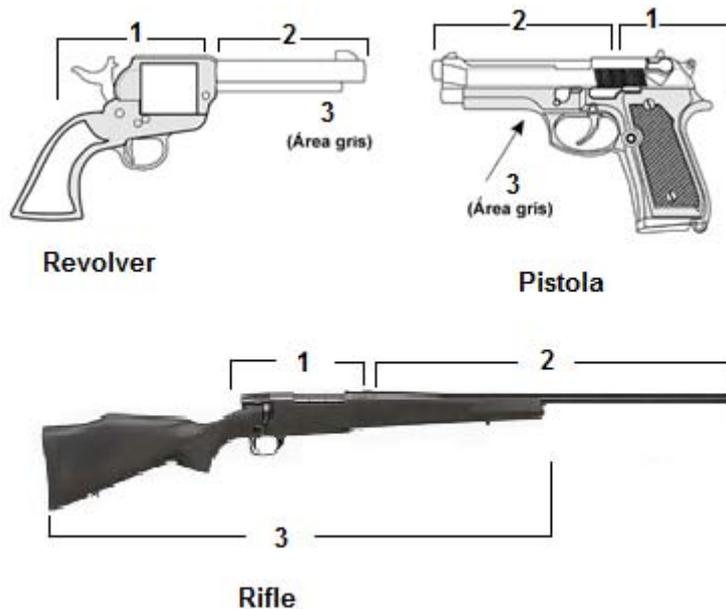
analítica multielemento de Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito y corrector de fondo Zeeman.

## II. MARCO TEÓRICO

### 1. ARMA DE FUEGO

Un arma de fuego se define como un instrumento de defensa y ataque, mismo que puede tener dimensiones y formas diversas y cuya finalidad es lanzar proyectiles a través de un tubo cañón, aprovechando los gases que se generan por la deflagración de la pólvora contenida en los cartuchos. Las armas de fuego se clasifican por su longitud en armas cortas: pistola y revólver; y en armas largas: rifles, carabinas, escopetas, fusiles, subametralladoras y ametralladoras (1,2).

En general un arma de fuego está integrada por un mecanismo de activación, cañón y cuerpo (1). (Figura 1)

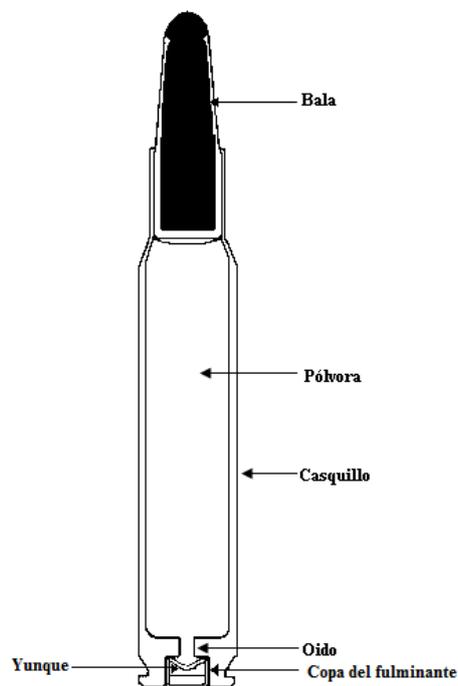


**Figura 1. Estructura de un arma de fuego. 1: Mecanismo de activación: Gatillo, martillo, punto de mira, tambor y seguro; 2. Cañón; 3. Cuerpo: Culata, cache, empuñadura y armazón.**

## 2. CARTUCHO

Un cartucho es un término genérico que se refiere, sobre todo, a objetos de uso militar, como son todo tipo de bombas, granadas, cohetes, minas, proyectiles y otros dispositivos o artefactos semejantes (1).

En la figura 2, se muestran las partes de la unidad de munición (cartucho) para un arma de fuego, la cual se denomina cartucho y consta de una bala, un casquillo, carga de proyección o propelente (pólvora), oído y copa del fulminante dentro del cual se encuentra el yunque.



**Figura. 2 Estructura de una unidad de munición**

La bala se define como el proyectil lanzado por un arma de fuego, que utiliza la fuerza de los gases producidos por la deflagración de la pólvora de un cartucho para alcanzar gran velocidad, generalmente compuesto por un núcleo de plomo o acero cubierto por un recubrimiento o camisa, normalmente de cobre (1).

Las balas generalmente se fabrican con plomo mezclado con antimonio y/o estaño para incrementar la dureza de la aleación; raramente se fabrican de otro metal y pueden ser simples o estar cubiertas de una camisa o chaqueta (3, 4).

Pueden ser redondas u ojivales (puntiagudas); las balas de plomo ordinarias son por lo general de calibre pequeño, aunque en armas antiguas las balas eran más grandes. Las balas encamisadas pueden ser de cualquier calibre, están cubiertas con una hoja de metal delgada, la cual puede ser de cobre, bronce, níquel, acero, etc. Algunas balas de plomo están cubiertas con una delgada capa de cobre o aleación de cobre-zinc, cobre-níquel, o aluminio (1).

El casquillo es un envase metálico, generalmente de forma cilíndrica, que contiene al fulminante y la carga de proyección, normalmente está fabricado de latón, acero o aluminio aunque el último es menos común. Cuando un cartucho es percutido en un arma de fuego, la presión de gas producida por la deflagración del propelente expande el casquillo herméticamente contra las paredes de la cámara, produciendo la expulsión de la bala (1, 2).

La carga de proyección o propelente la constituye la pólvora contenida holgadamente en el casquillo y está destinada a impulsar al proyectil por medio de la fuerza de los gases de combustión (1).

La pólvora es una mezcla explosiva utilizada principalmente como propulsor de proyectiles en las armas de fuego y con fines acústicos en los juegos pirotécnicos (5).

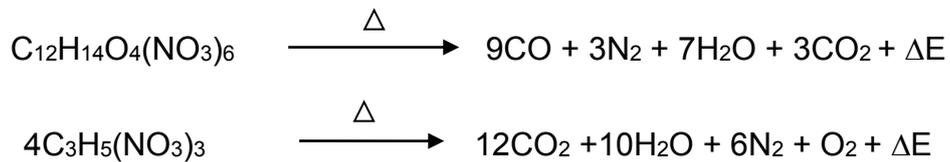
Cuando se lleva a cabo la combustión de la pólvora negra sucede la siguiente reacción:



Esta reacción representa una combustión completa en condiciones ideales. Cuando ocurre la deflagración al disparar un arma de fuego, se lleva a cabo una reacción más compleja, después de la deflagración se forman, como productos secundarios CO, H<sub>2</sub>S, KSCN, KNO entre otros.

Aún se puede encontrar este tipo de pólvora, sin embargo ha sido desplazada por la pólvora nitrocelulósica o sin humo debido al nulo residuo que deja en el ánima del cañón (5).

La pólvora sin humo está constituida por un medio de propulsión, llamado pólvora pura de nitrato de celulosa o pólvora de nitroglicerina. Las reacciones de la combustión que se llevan a cabo en un espacio abierto son:



Estas reacciones efectuadas en el cartucho, tienen como finalidad generar la energía suficiente para disparar la bala.

La cápsula detonante o copa del fulminante es una taza pequeña de latón o aleación de cobre que contiene una pastilla explosiva de gran sensibilidad, mezcla fulminante, que sirve para iniciar la deflagración de la carga de proyección (2).

Las mezclas fulminantes actualmente se fabrican de varios compuestos, los más comúnmente usados son: estifnato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio (3).

Las industrias Blount, Remington, Federal, y Winchester actualmente fabrican cartuchos (municiones) para pistola que no contienen plomo en la mezcla iniciadora. El cartucho de la compañía Federal utiliza compuestos de plomo, bario y antimonio.

El cartucho modelo Rimfire de la compañía Remington usa dos mezclas fulminantes, una que solo contienen compuestos de plomo y otra que usa compuestos de plomo y bario. Algunos fabricantes mexicanos de cartuchos tipo rimfire usan solo compuestos de plomo en el fulminante. El estifnato de plomo es el ingrediente principal de un explosivo normal (1).

Las materias fulminantes deben ser de una elevada estabilidad de almacenaje, por lo que se excluyen las materias que reaccionen entre sí. Otros componentes importantes empleados en las mezclas fulminantes son el

fulminato de mercurio y el nitruro de plomo. Otros explosivos empleados son el trinitrorresorcinato de plomo y el tetraceno (3, 4).

El bario forma parte de la composición de la mezcla iniciadora como un agente oxidante, aunque pueden utilizarse otros oxidantes, como el peróxido de hidrógeno (4, 6).

El antimonio se encuentra en la mezcla iniciadora como sulfuro de antimonio y es mezclado con silicato de calcio y polvo de aluminio, también se ha introducido polvo de zirconio y magnesio. Otra de sus funciones es que se utiliza como endurecedor del proyectil (4).

El plomo es el componente principal de la mezcla iniciadora usado como combustible de ignición y detonador, además es el primer elemento del proyectil. El material sensibilizador puede ser tetraceno, trinitrotolueno (TNT) o pentaeritritotetranitrato (PETEN) (4).

### **3. RESIDUOS POR DISPARO DE ARMA DE FUEGO**

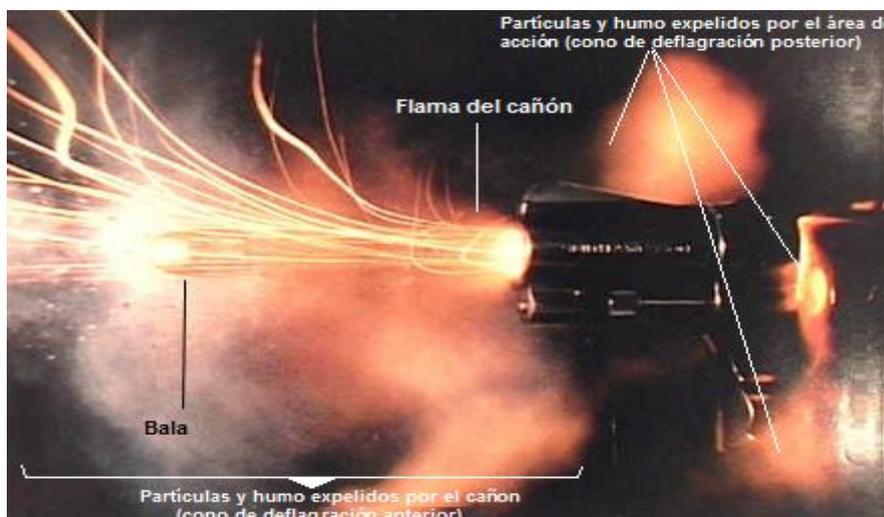
Cuando un arma es accionada el percutor (martillo) golpea el centro de la copa del fulminante, comprimiendo la mezcla iniciadora entre la copa y el yunque dando lugar a la explosión. Lo anterior produce una llama que pasa por los orificios del yunque y el oído del cartucho hacia el casquillo y a consecuencia de esto se inicia la ignición del propelente.

El hallazgo de compuestos resultantes de las reacciones que se llevan a cabo al efectuar un disparo de arma de fuego constituye la base para determinar si un individuo ha efectuado o no esta acción (6, 7, 21).

El análisis de residuos de disparo de arma de fuego (RDAF) se realiza rutinariamente en el laboratorio forense con la finalidad de resolver los problemas particulares como la diferenciación de heridas de entrada y salida, estimación de la distancia del disparo, establecimiento de tipo de cartucho utilizado, rastreo de la trayectoria de un proyectil y averiguar la relación de un individuo con los disparos en la escena del crimen. Todo esto puede contribuir a la reconstrucción de los hechos (8, 9, 10).

En el momento del disparo se expelen, además del proyectil, varios residuos sólidos (provenientes del proyectil, de la detonación de la mezcla iniciadora y de la pólvora) y productos gaseosos (monóxido y dióxido de carbono, vapor de agua, óxidos de nitrógeno y otros). Parte de los residuos sólidos permanecen dentro del cañón, alrededor del tambor y de la cámara de percusión del arma, los residuos que se proyectan hacia afuera se depositan en manos, brazos, pelo y la ropa de la persona que accionó el arma, a lo cual se le llama cono posterior; otra parte se expande en el área de la escena del crimen, es decir el llamado cono anterior (10, 11). (Figura 3)

Los RDAF son mezclas multicomponentes que incluye compuestos orgánicos e inorgánicos: Los residuos orgánicos son originados por el propelente: partículas de pólvora no quemadas, algunos productos de su transformación y algunas partículas de lubricantes. Los residuos inorgánicos, generalmente metálicos, originados por la mezcla iniciadora así como partículas que se desprenden del cartucho y de la propia arma (6, 12, 13).



**Figura 3. Ubicación de la materia liberada al momento de efectuar un disparo de arma de fuego**

Las partículas originadas por la mezcla fulminante son consideradas como los RDAF más característicos por su incomparable contenido químico y morfología que revelan los rasgos o las características del fundido y del enfriamiento repentino de la materia (3, 6, 8, 9, 13, 14,15, 16).

Las mezclas fulminantes se clasifican como corrosivas y no corrosivas de acuerdo a su composición química y por su efecto en el conducto del cañón.

La mezcla iniciadora corrosiva, incluye: 16–50% fulminato de mercurio ( $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ ); 25–37% sal de Berthollet ( $\text{KClO}_3$ ); 25–55% sulfuro de antimonio ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ). La descomposición explosiva de la mezcla iniciadora corrosiva ocurre de acuerdo al siguiente esquema:



La mezcla iniciadora no corrosiva está compuesta por: 29–35% trinitroresorcinato de plomo ( $\text{C}_6\text{H}_5(\text{NO}_2)_3\text{PbO}_2$ ); 2–4% tetraceno ( $\text{C}_2\text{H}_8\text{H}_{10}\text{O}$ ); 39–45% nitrato de bario ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ); 3–7% dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ); 6–8% sulfuro de antimonio y aluminio.

De la descomposición de la mezcla iniciadora no corrosiva, se forman óxidos de plomo, antimonio, bario y aluminio entre otros productos. Los elementos que proporcionan mayor información en el ámbito forense y que nos permiten distinguir entre las mezclas fulminantes corrosivas y no corrosivas de sus productos de descomposición son Hg, K, Cl para las primeras y Ba, Pb para las segundas. El antimonio y el azufre se presentan en ambos tipos de mezclas (12, 13).

La cantidad de estos elementos en las manos de una persona que accionó un arma de fuego depende, sin embargo, de diversos factores: el tipo de arma, su antigüedad y su condición; el cartucho utilizado, el tiempo que ha pasado desde que se efectuó el disparo, el número de disparos, el medio ambiente, la higiene del sospechoso y su rutina ocupacional. Con respecto a esto, estudios han confirmado que en la mayoría de los casos las personas que se relacionan por ejemplo con partes de autos, como mecánicos o electricistas automotrices, pirotécnicos, entre otras ocupaciones, han mostrado altos niveles de Ba, Pb y Sb en las manos, lo cual puede causar resultados falsos positivos. En el ámbito forense, se consideran como partículas resultantes de disparo de arma de

fuego aquellas que presentan la siguiente composición elemental: 1) Pb-Ba-Sb, 2) Sb-Ba o 3) Pb-Ba-Ca-Si-Sn (3, 6, 12, 17, 18).

Por lo anterior se considera que en el ámbito forense los metales plomo, bario y antimonio son determinantes en el análisis de RDAF; y debido a la finalidad del presente trabajo es necesario conocer sus características así como las diversas aplicaciones que los involucran.

#### **4. TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE RESIDUOS POR DISPARO DE ARMA DE FUEGO**

Las evidencias periciales para determinar que un individuo ha disparado un arma de fuego son de gran importancia en la investigación de muchos homicidios y suicidios. Por lo que desde hace muchos años se han desarrollado diversas técnicas que pretenden satisfacer tal necesidad (5, 26).

La primera técnica, conocida como prueba de la parafina, dermo-nitrato o prueba de la difenilamina, introducida a Estados Unidos en 1933 por Teodoro González se basa en la determinación de nitratos y nitritos provenientes de la pólvora. En 1959 Harrison y Gilroy introdujeron una prueba química colorimétrica basada en la identificación de plomo, bario y antimonio en manos. Para la determinación se utiliza yoduro de trifenilmetilarsonio para antimonio y rodizonato de sodio para bario y plomo. Con el transcurso del tiempo y debido a su baja sensibilidad estas pruebas fueron desplazadas por técnicas instrumentales mucho más sensibles (3, 6, 19, 20).

Pueden listarse diversas técnicas de determinación de los diversos residuos de disparo de arma de fuego. Los residuos orgánicos pueden ser analizados mediante técnicas como la cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas de triple cuadrupolo [liquid chromatography–triple quadrupole mass spectrometry] (LC/MS/MS), cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS); espectroscopía infrarrojo, detección fluorométrica, electroforesis capilar, entre otras (21).

El análisis de residuos inorgánicos puede realizarse mediante técnicas como la microscopía electrónica de barrido acoplada a análisis por rayos X, análisis por activación de neutrones, espectrofotometría de emisión atómica y espectrofotometría de absorción atómica de llama y electrotérmica, entre otras. La técnica que compete a la presente investigación en la espectrofotometría de absorción atómica electrotérmica (3, 4, 6, 12).

Moreno–Gonzales en 1997, estableció que para la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica con Horno de grafito (EAAHG), la concentración de residuos (punto de corte) con la que se puede afirmar que un arma fue disparada son Ba: 0.3- 3.35 ppm, Sb: 0.2- 3.86 ppm y Pb: 0.7- 4.34 ppm. Una prueba negativa es aquella en la que los tres elementos se encuentran por debajo de los puntos de corte. Cuando estas concentraciones están dentro de los puntos de corte se considera una prueba positiva. Cuando están sobre los puntos de corte se considera una contaminación. El autor ha establecido que los valores pueden variar para los tres elementos de 0.5 a 0.2 ppm, dependiendo de cada laboratorio. Los RDAF deben tener además una adecuada relación entre el bario y antimonio, por lo que se recomienda evaluar los tres en conjunto. Si el bario no se encuentra en conjunto con el antimonio, la prueba debe ser descartada (22).

DiMaio y colaboradores establecieron en 1999, que para considerar que una persona realizó un disparo de arma de fuego, los valores de antimonio deben estar por encima de 35 ng, para bario 150 ng y 800 ng para plomo (1).

#### **4.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

La espectroscopía es un término general para la ciencia que trata con las interacciones de varios tipos de radiación (luz, calor, rayos x, rayos gama) con la materia.

La espectrometría y los métodos espectrométricos se refieren a la medición de la intensidad de la radiación con un transductor fotoeléctrico u otro tipo de dispositivo electrónico.

El término espectroscopia atómica se refiere a tres técnicas principalmente: absorción atómica, emisión atómica y fluorescencia atómica. Siendo las primeras dos las más utilizadas (23).

Las técnicas espectroscópicas se basan principalmente en la medida de la radiación electromagnética emitida o absorbida por la materia; los métodos de emisión utilizan la radiación emitida cuando un átomo es excitado por energía térmica, eléctrica o radiante; los métodos de absorción están basados en la disminución de la potencia de la radiación electromagnética como consecuencia de la absorción que se produce en su interacción con el componente de interés analítico de una muestra llamado analito (24).

Actualmente la técnica de análisis más desarrollada para la cuantificación de elementos metálicos es la espectrofotometría por absorción atómica debido a que presenta una serie de ventajas; entre ellas destaca que es una técnica exacta y casi libre de interferencias (23, 24).

La espectroscopia atómica se refiere a la interacción de la radiación con partículas monoatómicas. Cuando la radiación atraviesa una muestra, es posible eliminar ciertas frecuencias mediante absorción, un proceso mediante el cual la energía electromagnética se transfiere a los átomos, iones o moléculas que forman la muestra. La absorción de la radiación por los átomos libres y neutros origina que este átomo pase del estado basal al estado excitado. Para que haya absorción de radiación, la energía del fotón excitador debe corresponder exactamente con la diferencia de energía entre el estado fundamental y uno de los estados excitados de la especie absorbente. Como estas diferencias de energía son únicas para cada especie, el estudio de las frecuencias de radiación absorbida proporciona un medio para caracterizar los constituyentes de una muestra de materia. Con este objetivo se determina en forma experimental un espectro, es decir una gráfica de absorbancia en función de la longitud de onda o de la frecuencia (23, 24).

El pasó de radiación policromática UV o visible a través de un medio que consta de partículas monoatómicas, originan la absorción de solo unas frecuencias muy bien determinadas. La sencillez relativa de dichos espectros se debe a la pequeña cantidad de posibles estados de energía de las partículas absorbentes. La excitación ocurre solo mediante un proceso electrónico en el cual uno o más de los electrones del átomo son llevados a un nivel superior de energía. La radiación UV y visible tienen suficiente energía para conseguir sólo las transiciones de los electrones más externos o de enlace. Las frecuencias de rayos x son varios órdenes de magnitud más energéticos y son capaces de interactuar con los electrones que están más cerca del núcleo, los picos correspondientes a estas transiciones se observan en la región de los rayos x.

La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando un átomo que se encuentra en estado basal (fundamental) absorbe energía en forma de luz a longitud de onda específica y es elevado a su estado de excitación. La cantidad de energía en forma de luz absorbida a la longitud de onda específica se incrementa de acuerdo al número de átomos del elemento seleccionado que se encuentran en el recorrido de la luz, es decir, en función de su concentración.

El instrumento que mide el fenómeno de absorción atómica debe estar constituido por cinco componentes: 1) Una fuente estable de energía radiante, 2) Un recipiente transparente donde se coloca la muestra 3) Un dispositivo que aísla una región restringida del espectro para efectuar las mediciones 4) Un detector de radiación que convierte la energía radiante en una señal eléctrica útil y 5) una unidad que procesa las señales y despliega resultados , la cual exhibe la señal que entrega el transductor en la escala de un medidor, una pantalla de computadora, un medidor digital u otro dispositivo de registro (23, 24).

Los instrumentos utilizados para la medición de la absorción atómica se valen de un sistema de atomización, para aislar lo átomos puros desde una matriz de determinada naturaleza, que ha evolucionado desde uno basado en una llama hasta el desarrollo de atomizadores electrotérmicos. Para llevar a cabo la parte experimental de la presente investigación se utilizó un espectrofotómetro de

absorción atómica multielemento con atomizador electrotérmico con horno de grafito y corrector de fondo Zeeman.

#### **4.1.1. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO**

La espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito es una técnica analítica moderna de espectroscopia atómica, en la cual el tiempo de análisis es pequeño en comparación con la técnica en flama. Se puede realizar la determinación de aproximadamente 40 elementos en muestras con volúmenes muy pequeños (20-50  $\mu\text{L}$ ). El límite de cuantificación para esta técnica va de  $\mu\text{g/mL}$  o  $\text{mg/L}$  (ppm), hasta  $\text{ng/mL}$  o  $\mu\text{g/L}$  (ppb), las técnicas de espectroscopia atómica son altamente específicas y casi libres de interferencia. (23, 24).

En esta técnica la muestra es introducida de forma directa al tubo, el cual se calienta en una serie de pasos que han sido programados para remover el solvente de la muestra, eliminar los componentes de la matriz y por ultimo atomizar la muestra manteniéndola en el tubo (justo cuando la energía radiante en forma de luz pasa por el tubo) por un periodo extendido de tiempo. Lo que resulta en una mayor sensibilidad y límites de detección importantes (23, 24).

### **INSTRUMENTACIÓN**

#### **a. FUENTE DE RADIACIÓN**

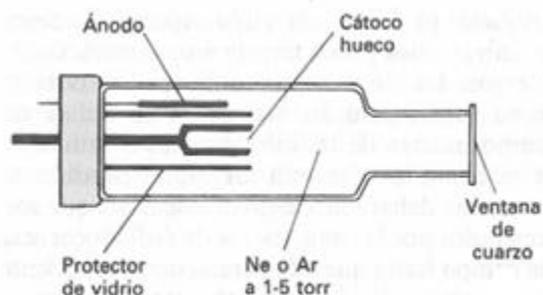
La fuente de radiación en esta técnica debe permitir una línea de la misma longitud de onda del elemento a determinar, además de que el haz que incide en la muestra debe ser más estrecho que el de la banda o pico de absorción (líneas de resonancia).

El uso de una fuente de luz especial y la cuidadosa selección de longitud de onda es lo que permite la determinación específica de un elemento en presencia de otros. La calidad de la fuente de luz es de primordial importancia en la obtención de linealidad, sensibilidad, y precisión en absorción atómica.

Tradicionalmente la fuente de luz más utilizada son las lámparas de cátodo hueco (HCL), las cuales son ideales para la determinación de muchos elementos en espectroscopia de absorción atómica. Sin embargo, para elementos volátiles (como arsénico y selenio), son más recomendadas las lámparas de descarga sin electrodos (EDL) que mejoran los límites de detección y precisión, incrementando la sensibilidad y linealidad de la curva de trabajo (23, 24).

## LÁMPARAS DE CÁTODO HUECO

La lámpara de cátodo hueco (Figura 4), consta de un ánodo de tungsteno y un cátodo cilíndrico, soldados en un tubo de vidrio que contiene un gas inerte (como argón o neón), a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo se fabrica con el mismo metal cuyo espectro se determina, o con un soporte recubierto de este metal, una ventana de cuarzo con un sello adecuado para ser usado a longitudes de onda debajo de 230 nm, o una ventana de vidrio de transmisión UV para lámparas que van a ser usadas a longitudes de onda mayores. El sello de cuarzo o ventana de vidrio están fundidos en el cilindro de vidrio. (23)



a)



b)

**Figura 4. a) Sección transversal de una lámpara de cátodo hueco, b) lámpara de cátodo hueco.**

Las lámparas de cátodo hueco emiten luz cuando al aplicar una potencia de unos 300 V a través de los electrodos se provoca la ionización del gas y se genera una corriente de 5 a 10 mA, que por migración provoca que los iones

cargados positivamente colisionen con el cátodo cargado negativamente y desplazan átomos de metal en un proceso conocido como “crepitación”. Estos átomos de metal separados son excitados a través del impacto con los iones del gas inerte y se emite luz de longitudes de onda específica para el elemento cuando los átomos “decaen” del estado de excitación a un estado más estable (23, 24).

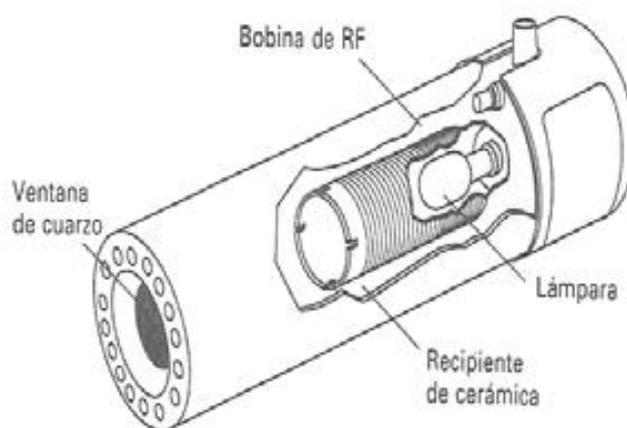
Existen dos tipos de lámparas de cátodo hueco: lámparas para un solo elemento o multielemento. Las lámparas para un solo elemento emiten luz de longitudes de onda específicas para este, el cual está diseñado para todos los elementos comúnmente medidos en absorción atómica. También es posible construir un cátodo de una mezcla o aleación de varios metales para lámparas multielemento. Sin embargo, no todos los metales pueden ser usados en combinación con otros, debido a las propiedades metalúrgicas o limitaciones espectrales. Cuando se combinan elementos incompatibles las líneas de emisión de un elemento pueden interferir con algún otro, reduciendo la especificidad de absorción atómica (23).

Algunas reglas básicas pueden ser aplicadas en la selección de una lámpara de un solo elemento o un multielemento. Frecuentemente, la intensidad de emisión para un elemento en una lámpara multielemento no es tan grande como para el mismo elemento en una lámpara de elemento sencillo. Esto puede afectar un análisis donde se requieren el mejor límite de detección y precisión (23).

### **LÁMPARAS DE DESCARGA SIN ELECTRODOS (EDL)**

Las lámparas de descarga sin electrodos están provistas de un tubo de cuarzo con el metal cuyo espectro se desea obtener. Este tubo se encuentra lleno de gas inerte (Argón o Kriptón) a baja presión entre 0.1 a 5 Torr y rodeado por un cilindro de cerámica que a su vez está rodeado por una bobina de radiofrecuencia. Los iones presentes de argón se crean por energía de radiofrecuencias, en ese momento los iones colisionan con los átomos

metálicos gaseosos que entonces emiten energía. Este tipo de lámparas pueden estar disponibles para cerca de 17 elementos (24). (Figura 5)



**Figura 5. Lámpara de descarga sin electrodos**

### **b. SISTEMA DE ATOMIZACIÓN**

El instrumento utilizado inicialmente en esta técnica se vale de un sistema de atomización por llama por lo cual se denomina Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama (o flama), actualmente desplazado, aunque no por completo, por la Espectrofotometría de Absorción Atómica electrotérmica que se vale de un Horno de Grafito (Figura 6), como sistema de atomización; lo cual hace mucho más eficiente la determinación de distintos analitos metálicos.

El sistema de atomización tiene como principales objetivos, ser capaz de producir átomos libres en estado basal a partir de la muestra y mantener la concentración de átomos constante, el tiempo suficiente para detectar y registrar el valor de la radiación absorbida por ellos (23, 24).

## ATOMIZACIÓN ELECTROTÉRMICA

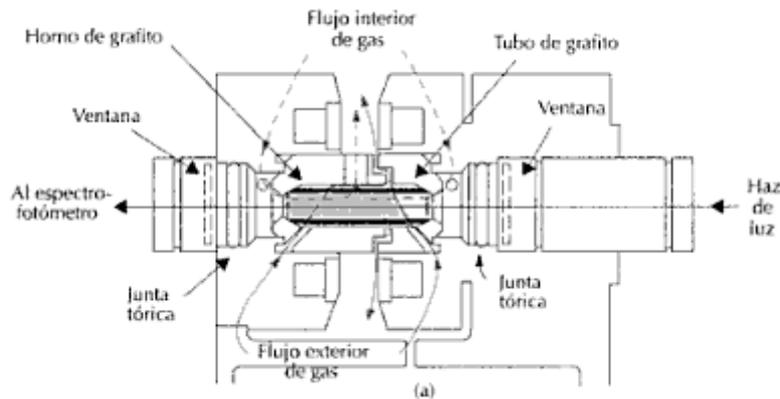
El uso de atomizadores electrotérmicos como el horno de grafito, ha permitido cuantificar elementos en niveles de ppm, se emplean cantidades de muestra en el rango de 10 a 30  $\mu\text{L}$  (10), la muestra es introducida directamente al tubo de grafito (Figura 7), en el cual el calentamiento está programado en una serie de pasos que permiten remover el disolvente, los principales componentes de la matriz y atomizar el analíto (23, 24).

Los atomizadores electrotérmicos por lo general proporcionan mayor sensibilidad, ya que se atomiza toda la muestra en un intervalo de tiempo muy corto y el tiempo de residencia medio de los átomos en el camino óptico es igual o mayor que 1 segundo (24).

En un atomizador electrotérmico, las muestras son inyectadas al tubo de grafito a través de un orificio de diámetro pequeño localizado en la parte superior del tubo, se evaporan primero unos pocos microlitros de muestra a temperatura baja y se calcinan después a una temperatura algo mayor en un tubo cilíndrico de grafito, de aproximadamente 1-3 cm de longitud, y 3-8 mm de diámetro, calentado eléctricamente. Después de calcinar la muestra se eleva rápidamente la temperatura con lo que la atomización de la muestra tiene lugar entre unos pocos milisegundos y unos segundos. Y es entonces cuando se mide la absorbancia de las partículas atomizadas que se encuentran en la región justo encima del conductor caliente (24).

El tubo de grafito es alojado en un ensamble que sella las salidas del tubo con ventanas ópticamente transparentes. Se alinea enfrente de la rendija de entrada del monocromador. El ensamble permite que el tubo de grafito sea fijado perfectamente a un par de contactos eléctricos cilíndricos localizados en cada uno de los extremos del tubo. Estos contactos están dentro de una camisa metálica enfriada por agua. Se dispone de dos corrientes de gas inerte la corriente externa que impide la entrada de aire exterior y la corriente interna que entra por los dos extremos del tubo y sale por el agujero central de introducción de la muestra, protegiendo así el grafito de la oxidación, y

removiendo los productos gaseosos producidos durante la atomización. Se emplea una fuente de poder para pasar la corriente a través del tubo de grafito, resultando en un calentamiento por la resistencia. (24)



**Figura 6. Estructura interna del horno de grafito longitudinal.**



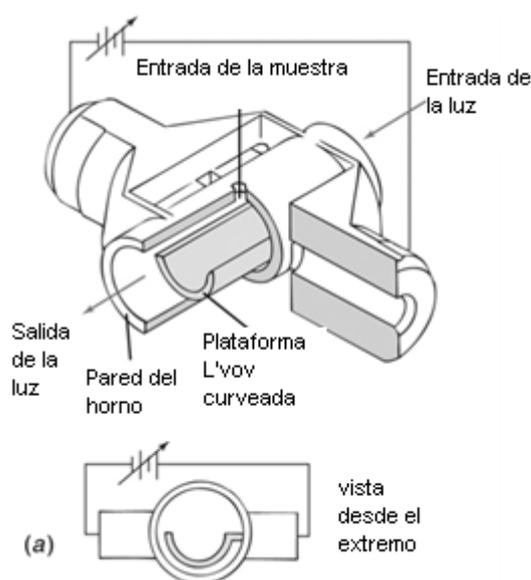
**Figura 7. Tubo de grafito**

Para la cuantificación en un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito se deben establecer las condiciones analíticas óptimas ya que la muestra debe ser atomizada en un ambiente controlado y térmicamente estable para prevenir las interferencias y el error analítico (24).

Con la espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito, la llama se sustituye por una corriente eléctrica alta que al ser aplicada al tubo de grafito eleva la temperatura permitiendo el control de los diferentes pasos como son la deshidratación (secado), calcinación (pirolisis) y atomización; mejor conocidos como programa de calentamiento (23, 24).

## TUBO DE GRAFITO DE CALENTAMIENTO TRANSVERSAL

El tamaño y forma del tubo de grafito transversal (Figura 8) han sido establecidas después de un largo programa de desarrollo para cumplir con dos objetivos, proporcionar una distribución uniforme de la temperatura en la longitud del tubo y la facilidad de uso. Los tubos de grafito y la plataforma integrada son elaborados de una pieza de electrografito espectralmente puro de alta densidad antes de ser recubiertos con una fina capa de grafito pirolítico (23, 24).



**Figura 8. Tubo de grafito de calentamiento transversal**

El electrografito tiene una gruesa superficie recubierta que permite que ciertos materiales puedan penetrar y reaccionar con el grafito a temperaturas elevadas. A estas temperaturas el grafito es poroso a las especies en fase gaseosa y la difusión de los átomos del analito es alta, lo que reduce la sensibilidad. Por lo tanto una capa fina de grafito pirolítico proporciona una superficie más lisa y densa que evita la penetración de la matriz de la muestra y reduce considerablemente la difusión en la fase gaseosa durante la atomización. (23, 24)

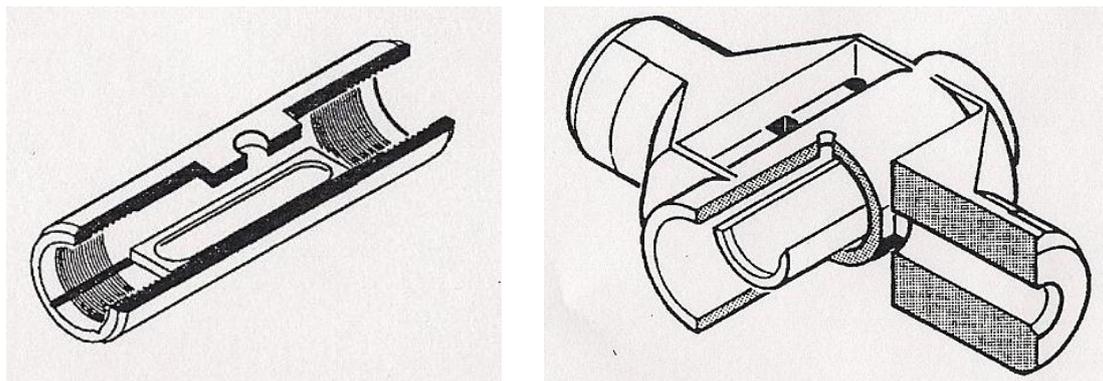
Algunos elementos que parten de carburos refractarios tienden a ser retenidas por el grafito y solo pueden liberarse a temperatura muy elevadas, los tubos

revestidos con grafito pirolítico aumentan la sensibilidad y reducen el efecto de memoria. La mayoría de las matrices causará menos interferencia en los tubos revestidos con grafito pirolítico porque no se mantienen entre las capas de grafito durante los pasos de la pirólisis de la muestra. Además le proporcionan al tubo una vida útil mucho más larga debido a su superficie relativamente impermeable. Los tubos de grafito tienen una vida útil de 50 a varios cientos de determinaciones, dependiendo del tiempo de atomización, la temperatura, el flujo de gas y del tipo de muestra. De acuerdo a la edad del tubo el pico de análisis puede cambiar en forma. Por lo que el tubo debe ser reemplazado cuando el valor de absorbancia integrada se encuentre entre 20% a 25% por debajo del valor original. También la precisión se afecta ya que disminuye con la edad del tubo (23, 24).

### **PLATAFORMA L'VOV**

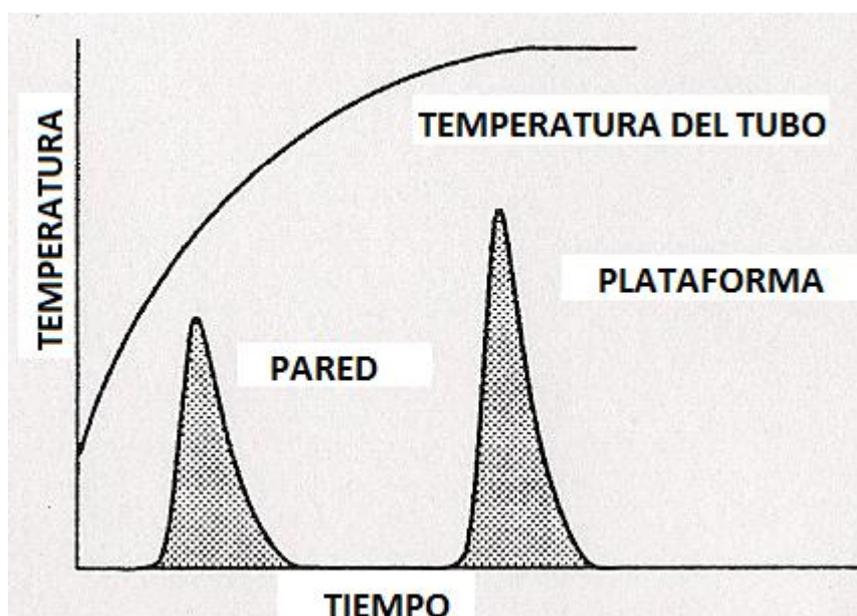
Algunos hornos incluyen en su interior una plataforma de grafito (Figura 9), denominada plataforma L'Vov. En este caso, la muestra se coloca en la plataforma en lugar de la superficie interna del horno. La plataforma sólo toca los lados del horno por la parte inferior de éste, de forma que el calor de sus paredes no calienta la muestra directamente. La muestra se calienta principalmente por medio de calor radiado, que tiende a producir un calentamiento más uniforme.

La plataforma L'Vov es una placa excavada insertada dentro del tubo con recubrimiento pirolítico (Figura 9). La placa es construida con grafito pirolítica de alta anisotropía y de baja conductividad térmica. Por lo tanto la atomización con plataforma L'Vov minimiza la conducción; la transferencia del calor ocurre predominantemente por radiación desde las paredes calientes del tubo. Así se retrasa la atomización de la muestra hasta que el tubo de grafito y el gas inerte alcanzan un equilibrio térmico, la estabilización térmica incrementa mucho la reproducibilidad y reduce las interferencias considerablemente.



**Figura 9. Horno transversal con plataforma L'Vov integrada**

Cuando se utiliza atomización en hornos sin plataforma, la muestra se deposita sobre la pared en la parte central del tubo; esta región es la parte que se calienta más rápido y alcanza primero la temperatura de atomización (Figura 10). Esto significa que la superficie de donde se volatilizó el analito está a una temperatura más alta que la atmósfera que la rodea.



**Figura 10. Picos de atomización en la pared del tubo y en la plataforma L'vov**

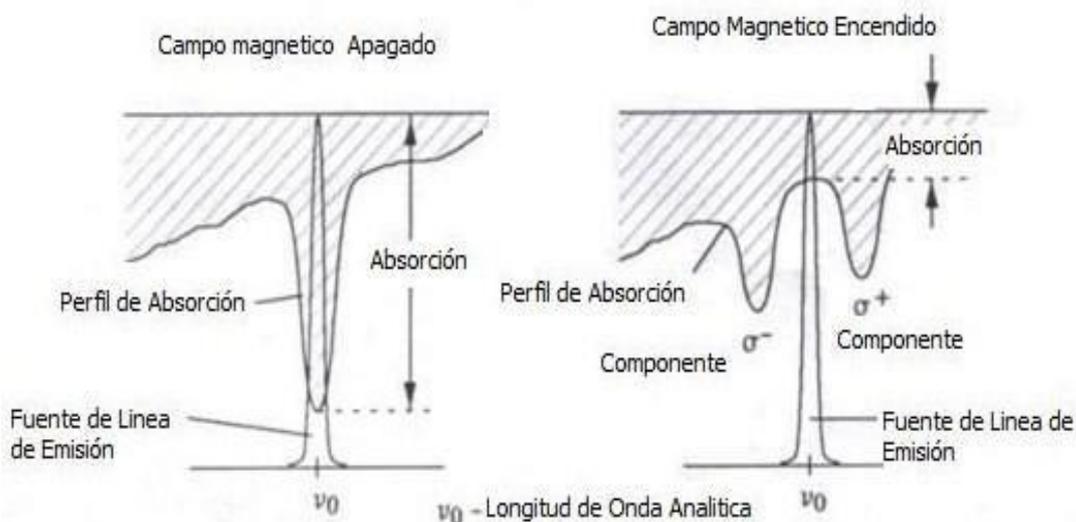
## CORRECTOR DE FONDO ZEEMAN

La corrección de fondo es necesaria en todo tipo de muestras que sean analizadas con el horno de grafito. Esta corrección de fondo es necesaria ya que elimina las señales de absorción que no son debidas al analíto.

Cuando las líneas atómicas de emisión o absorción atómicas son sometidas a un campo magnético fuerte son divididos en varios componentes más polarizados. Estas líneas suplementarias surgen del desdoblamiento de los niveles de energía de los electrones dentro de los átomos (23, 24).

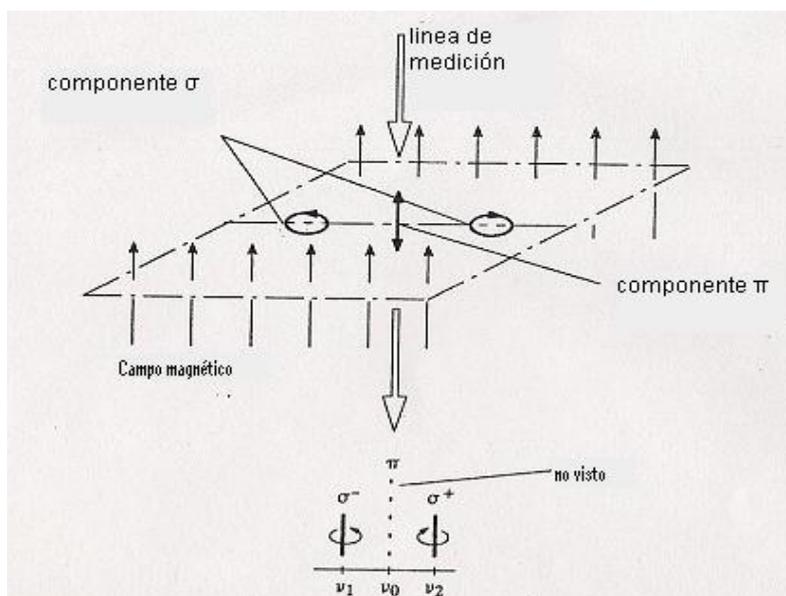
Estas líneas están separadas unas de otras en unos 0.01nm, siendo la suma de las absorbancias de estas líneas exactamente igual a la de la línea de la cual proceden. Este fenómeno común para los espectros atómicos, se denomina *efecto Zeeman*. (Figura 11)

Existen diversos modelos de desdoblamiento. En el caso más simple esta división produce tres líneas espectrales, el  $\pi$ -Componente en la longitud de onda original de analíto y los componentes  $\sigma^+$  y el  $\sigma^-$  combinados simétricamente a cada lado de la línea original. La magnitud de la separación depende de la fuerza del campo magnético (23, 24).



**Figura 11. Corrección de fondo mediante el efecto longitudinal Zeeman**

La aplicación del efecto Zeeman en los instrumentos de absorción atómica se basa en la distinta respuesta a la radiación polarizada de los dos tipos de picos de absorción. El pico  $\pi$  absorbe solamente la radiación que está polarizada en un plano paralelo al campo magnético externo; por lo contrario, los picos  $\sigma$  sólo absorben la radiación polarizada a 90 grados respecto al campo. (Figura 12)



**Figura 12. Efecto Zeeman observado en una configuración longitudinal**

Los instrumentos con efecto Zeeman permiten una corrección de fondo más exacta. Estos instrumentos son especialmente útiles en atomizadores electrotérmicos y permiten la eliminación de errores significativos provocados por la descomposición de diversos tipos de muestras

## OPTIMIZACIÓN DEL PROGRAMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO

### Secado o desolvatación

El propósito principal de este paso es el evaporar el solvente que está presente en la muestra, pues su presencia puede ocasionar la aparición de picos dobles que ocasionan imprecisión, es una parte importante en la secuencia del programa de calentamiento además de ser una gran influencia en la precisión de las determinaciones y en el tiempo de vida del tubo. Cuando la muestra es introducida no debe de haber salpicaduras, las cuales ocurren cuando el horno se encuentra demasiado caliente. Esto puede ocurrir cuando el agua de

refrigeración está muy caliente o el tiempo de análisis entre muestra y muestra es muy corto. Manejar el agua a una temperatura de 20° a 40°C y un tiempo de espera entre muestras de 20 segundos es suficiente para evitar salpicaduras. La temperatura típica de secado es de 20° a 40°C por encima del punto de ebullición del solvente. El tiempo de rampa debe ser lo suficientemente largo para evitar un aumento demasiado rápido de la temperatura lo que puede provocar salpicaduras (23).

Una muestra acuosa de 20  $\mu\text{L}$  puede ser secada con una secuencia combinada de 110 °C con una rampa de 1s manteniéndola durante 20s, seguido de 130 °C con una rampa de 5s y manteniéndolo durante 30s. Este procedimiento inicialmente calienta la plataforma y el disolvente a una temperatura en el punto de ebullición de este, seguido de un aumento a 130 °C, que elimina rápidamente el vapor de disolvente del sistema y asegura una secado uniforme. Cabe mencionar que volúmenes de muestra superiores a 20  $\mu\text{L}$  o con grandes cantidades de sólidos disueltos puede requerir más tiempo de secado (23, 24).

### **Pirólisis**

El principal objetivo de la pirólisis térmica es remover la mayor parte de los componentes de la matriz de la muestra, para permitir la atomización. Disminuyendo así las interferencias químicas además de que reduce la magnitud de la señal de fondo (23, 24).

Para las soluciones acuosas la temperatura de pirólisis depende de cada elemento, esta debe ser mantenida durante un periodo de tiempo de 30 s y será suficiente. Aunque algunas matrices densas pueden necesitar más tiempo. Por lo general un tiempo de rampa de 5 a 10 s es suficiente. Sin embargo, la matriz puede contener componentes con diferentes requerimientos para la descomposición térmica. Además debe considerarse que si la temperatura de pirólisis aumenta demasiado rápido, algún componente relativamente volátil de la matriz puede disociarse o hervir tan rápidamente que puede provocar salpicaduras; lo que provoca picos irregulares o múltiples.

En estos casos, puede ser necesario un tiempo de rampa relativamente largo de 15 segundos más o menos. Algunas matrices orgánicas son mejor eliminadas si la pirolisis se realiza con un gas alternativo, como el oxígeno del aire. Se recomienda purgar el tubo de grafito con argón en un paso adicional del programa antes de que la temperatura se incremente aún más.

A estas temperaturas cualquier material orgánico es convertido en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, y materiales inorgánicos son volatilizados. Estos gases son removidos por una corriente de gas inerte (23, 24)

Durante este paso es de suma importancia la adición de algún modificador de matriz, ya que estabiliza al analito permitiendo poder elevar la temperatura y así eliminar la mayor cantidad de matriz, haciendo más efectiva la pirolisis (17, 24).

### **Atomización**

Este paso es el más importante del programa de calentamiento pues la muestra es atomizada en forma de átomos libres manteniéndolos en la trayectoria de la radiación.

La temperatura seleccionada para atomización debe ser suficiente para garantizar la completa volatilización del elemento analizado. La temperatura óptima depende de las propiedades del compuesto en el que los elementos residen. Para muchos elementos el uso de modificadores de matriz produce cambios en el analito que lo hacen más predecible así como más reproducible al momento de ser analizado (23, 24).

Cabe señalar que debido a la distribución uniforme de la temperatura en el horno de grafito, la temperatura de esta fase es más alta y en consecuencia la eficiencia de atomización también es mayor. Por esta razón no se requieren altas temperaturas de atomización, generalmente no se requieren temperaturas de atomización mayores de 2500°C. Debido a que las altas temperaturas

disminuyen el tiempo de vida del tubo es preferible utilizar una menor temperatura, siempre y cuando se garantice la completa atomización (23, 24).

## **Limpieza**

Para este paso es recomendable una temperatura de 2400°C a 2500°C por 3 segundos aproximadamente.

Si este paso se realiza en un tiempo corto o a una temperatura muy baja, muchos residuos de la muestra permanecen en el tubo e interfieren con las atomizaciones subsecuentes. La presencia de residuos se puede controlar mediante la ejecución de una atomización del tubo con un blanco después de la limpieza. Una limpieza a una temperatura mayor a 2550 °C por periodos de tiempo largos (> 5s) puede disminuir el tiempo de vida del tubo. Por lo que es preferible realizar este paso con la temperatura más baja que sea posible siempre y cuando se garantice la limpieza del tubo (8, 24).

## **5. PLOMO (Pb)**

El plomo es un metal pesado (número y peso atómicos 82 y 207.19 una respectivamente). Su densidad relativa es de 11,4 a 16 °C, de color azulado al empañarse adquiere un color gris mate. Es flexible y funde a 327,4 °C; su punto de ebullición se da a 1740 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico; se disuelve en ácido nítrico con lentitud, en soluciones calientes concentradas de ácido sulfúrico y ante la presencia de bases nitrogenadas (25, 26).

La corteza terrestre contiene cantidades muy bajas de plomo, aproximadamente  $2 \times 10^{-5}$  % y se encuentra en forma especial o mayormente en los depósitos minerales de lo que se refina el metal. Es 36º lugar en orden de abundancia en la corteza terrestre. El principal mineral de plomo es la galena (PbS), a la que siguen en importancia la cerusita (PbCO<sub>3</sub>) y la anglesita (PbSO<sub>4</sub>); de los cuales se concentra y luego refina el plomo metálico (25, 27).

Forma aleaciones con muchos metales las cuales constituyen la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Es utilizado en acumuladores, soldaduras, forros para cables eléctricos y telefónicos, en esmaltado de alfarería, hule, juguetes, gasolina (tetraetilo de plomo), aleaciones de latón, elementos de construcción, baterías, soldadura suave y municiones; se emplea como pantalla protectora para las máquinas de rayos X como blindaje contra la radiación. También es muy utilizado en pigmentos; el más utilizado es el blanco de plomo ( $2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ); otros pigmentos importantes son el sulfato básico de plomo y los cromatos de plomo (25, 26, 27, 28, 29).

Los compuestos de plomo, como silicatos, carbonatos y sales de ácidos orgánicos, son utilizados como estabilizadores contra el calor y la luz en los plásticos de cloruro de polivinilo. El azuro de plomo,  $\text{Pb(N}_3)_2$ , es el detonador estándar para los explosivos. Los arsenatos de plomo se emplean en grandes cantidades como insecticidas para la protección de los cultivos. El litargirio (óxido de plomo II) se emplea mucho para mejorar las propiedades magnéticas de los imanes de cerámica de ferrita de bario. Asimismo, una mezcla calcinada de zirconato de plomo y de titanato de plomo, conocida como PZT, está ampliando su mercado como un material eléctrico (25, 27, 28, 29).

Debido a cada una de sus aplicaciones, el plomo se encuentra en contacto con aquellas personas que se ocupan de las actividades donde se utilizan los objetos en cuya estructura o composición se encuentra este metal. En el Cuadro 1, se listan algunas de sus aplicaciones además de las actividades laborales relacionadas.

Se usa como componente de proyectiles de arma de fuego. Como componente de las cápsulas detonantes de las armas de fuego como estifnato de plomo, conjuntamente con el dióxido de plomo.

Aplicaciones del plomo	Actividad laboral
Metal de imprenta	Impresores
Pinturas industriales, pigmentos, pigmentos protectores de madera	Fabricantes de pinturas, vendedores de pinturas, trabajadores de la construcción, demolidores, pintores
Soldaduras, acumuladores, agentes reductores del desgaste en los lubricantes, baterías para autos, gasolina *	Herreros, mecánicos de automóviles, plomeros, fabricantes y recicladores de baterías, trabajadores de gasolineras
Forros para cables eléctricos	Electricistas, reparadores de computadoras, teléfonos, televisores, etc.
Esmaltado de alfarería, acabados del vidrio y cerámica	Alfareros, fabricantes de vidrio
Aleaciones de latón, inhibidores de la corrosión del acero	Cortadores de acero, herreros, plomeros, trabajadores de fundiciones
Municiones, detonador para explosivos	Agentes de policía, instructores de tiro
Agentes biocidas, agentes molusquicidas y antihelmínticos, insecticidas	Fabricantes de estos derivados y quienes los aplican
Preservadores para el algodón	Trabajadores de la industria manufacturera del algodón

### **Cuadro 1. Aplicaciones del plomo y actividades laborales relacionadas**

\*Actualmente no aplica, sin embargo en las gasolineras aún quedan residuos derivados de plomo

## 6. BARIO (Ba)

El bario es un metal alcalinotérreo denso se encuentra en el grupo IIA de la tabla periódica (Número atómico 56, masa atómica 137.4 uma). El elemento libre es un metal suave plateado-blanco que se oxida en aire húmedo y reacciona con agua. No existe en la naturaleza en forma elemental pero se produce como catión divalente en combinación con otros elementos. Su punto de fusión es de 725 °C y el de ebullición de 1640 °C; su densidad es de 3.6 g/cm<sup>3</sup> Ocupa el 16° lugar de los elementos no gaseosos más abundantes en la corteza terrestre, constituyendo aproximadamente el 0.04 % de ella (30, 31).

El bario se encuentra en el carbón en concentraciones de hasta 3000 mg / kg, así como en los aceites combustibles. Además de su presencia natural en la mayoría de las aguas superficiales, el bario también es liberado al medio ambiente a través de las emisiones industriales. Su tiempo de residencia en la atmósfera puede ser varios días (30, 31).

Dos compuestos de bario comúnmente encontrados son el sulfato y el carbonato. El sulfato existe como un polvo blanco o cristales ortorrómbicos y es producido a partir de la barita el cual es un mineral moderadamente suave de color blanco a cristalino opaco a transparente; la barita se utiliza como un relleno en una gama de recubrimientos industriales, como relleno denso en algunos plásticos y caucho, en los forros de freno, y en algunos selladores y adhesivos (30, 31)

Los trabajadores en cuya actividad se utilice alguno de los productos que en su estructura y composición contienen bario pueden presentar en las manos cantidades determinadas del metal.

En el cuadro 2 se enlistan algunas aplicaciones del bario y las profesiones con que se relaciona.

<b>Aplicaciones del bario</b>	<b>Actividad laboral</b>
Pirotecnia, señales luminosas	Pirotécnicos
Recubrimiento de conductores eléctricos en aparatos electrónicos y en sistemas de encendido de automóviles, alambres de bujía	Mecánicos de automóviles, electricistas, reparadores de aparatos electrónicos
Pigmento en pinturas blancas, manufactura de colorantes brillantes, Pigmentos amarillos	Fabricantes de pinturas, pintores, vendedores de pinturas, demoledores, trabajadores de la construcción
Para aumentar el contraste en radiografías	Radiólogos
Cerámica, alfarería, en vidrio óptico	Alfareros, fabricantes de vidrio
Veneno para ratas	Trabajadores de la industria manufacturera de veneno de ratas, exterminadores
Manufactura de cloruro e hidróxido de sodio	Trabajadores de la industria química
Agente de secado en la industria y en el endurecimiento de aceros, metalurgia	Trabajadores de la industria metalúrgica; manufactura y fundición del acero, herreros

---

**Cuadro 2. Aplicaciones del Bario y actividades laborales relacionadas**

**7. ANTIMONIO (Sb)**

Metal con número atómico de 51, masa atómica de 121.76 uma, densidad relativa es de 6.7, punto de fusión y ebullición son 630.63 °C y 1586.85 °C respectivamente. Físicamente es un sólido cristalino, fundible, quebradizo, blanco plateado; presenta una conductividad eléctrica y térmica baja y se evapora a bajas temperaturas (32, 33).

Este elemento ocupa el lugar 64 en abundancia entre los elementos naturales de la corteza terrestre estimándose de 0.2 a 0.5 ppm. Se presenta en conjunto con azufre y con otros metales como plomo, cobre y plata (32, 33).

Se emplea en varias aleaciones, en especial de plomo, las cuales son más duras y resistentes mecánicamente que el plomo puro, esta aleación es útil en la fabricación de municiones y de ciertas piezas de batería para las que la resistencia a la corrosión es necesaria. Otras aleaciones son el peltre, metal antifricción (con estaño), metal inglés (con zinc), etc. casi la mitad de todo el antimonio producido se consume en acumuladores y baterías, algunos tipos de imprenta, revestimiento de cables, cojinetes antifricción, y diversas clases de metales de consumo. Es un componente menor (0,5 y 3 %) pero importante de muchas soldaduras suaves, las cuales funden a temperaturas inferiores a 625 grados Kelvin (32, 33).

Los óxidos, sulfuros y halogenuros se emplean en la fabricación de materiales resistentes al fuego, esmaltes, vidrios, pinturas y cerámicas. El trióxido de antimonio es el más importante y se usa principalmente como retardante de llama empleado en distintos mercados como ropa, juguetes, o cubiertas de asientos, este mismo compuesto se utiliza como pigmento blanco en pinturas exteriores y en pequeñas cantidades como estabilizador de color (32, 33).

Los pigmentos conductores de la electricidad del óxido de estaño con antimonio se incorporan en las capas plásticas que protegen las computadoras y otros componentes electrónicos contra la electricidad estática (32, 33).

Se emplea en la construcción de canales y barreras a la humedad y como estabilizador de muchos plásticos como el PVC susceptibles a la degradación por calor y luz UV. Funciona como catalizador en la polimerización de PET.

Es liberado al ambiente desde fuentes naturales e industriales; principalmente de la combustión de combustibles fósiles en automóviles, centrales eléctricas e incineradoras. Puede permanecer en el aire adherido a partículas muy pequeñas por muchos días, al depositarse en el suelo se adhiere firmemente a partículas que contienen hierro, manganeso o aluminio. El límite de exposición

ocupacional es 0,5 mg de antimonio por m<sup>3</sup> de aire por un día laborable de 8 horas (32, 33).

Al igual que en el plomo y bario, los trabajadores que están en contacto con los productos que en su composición contienen antimonio pueden presentar en las manos cantidades determinadas de este metal. En el cuadro 3 se exponen algunas aplicaciones del antimonio y las actividades laborales con que se relacionan.

<b>Aplicaciones del antimonio</b>	<b>Actividad laboral</b>
Endurecedor en la munición	Instructores de tiro, agentes de policía
Acumuladores, baterías, cojinetes antifricción, anticorrosivo en baterías	Mecánicos de automóviles
Tipos de imprenta, y rodamientos	Impresores
Soldaduras suaves	Soldadores, herreros
Revestimiento de cables, capas plásticas que protegen las computadoras y otros componentes electrónicos contra la electricidad estática	Electricistas, reparadores de computadoras, teléfonos, televisores y demás aparatos electrónicos
Manufactura de materiales resistentes al fuego, retardante de llama en ropa, juguetes, o cubiertas de asientos	Fabricantes de juguetes, ropa, asientos
Esmaltes, vidrios, pinturas y cerámicas	Alfareros, trabajadores de la manufactura del vidrio
Estabilizador de plásticos como el PVC ante el calor y luz UV, catalizador en la polimerización de PET	Fabricantes de plásticos, trabajadores de la construcción, plomeros
Pigmento blanco para las pinturas exteriores, estabilizador de color	Fabricantes y vendedores de pinturas, pintores

**Cuadro 3. Aplicaciones del antimonio y actividades laborales relacionadas**

## 8. CANTIDADES DE PLOMO BARIO Y ANTIMONIO ESPERADOS AL EFECTUAR DISPAROS DE ARMA DE FUEGO

Romero Ayón y García López (34) reportaron datos de concentración de plomo, bario y antimonio en manos de personas que efectuaron disparos de arma de fuego. Estos datos se muestran en los cuadros 4, 5 y 6.

	Disparo		No disparo	
	Mano derecha	Mano izquierda	Mano derecha	Mano izquierda
Promedio	2498.4	1316.5	1690.8	1677.0
n	179	179	27	27
e. e. m.	176.7	111.6	439.7	498.7
Máximo	9971.0	7912.0	9383.0	9743.9
Mínimo	122.0	56.0	106.0	113.0

**Cuadro 4. Concentración de plomo (ppb) en manos de personas que realizaron disparo de arma de fuego y de personas que no dispararon.**

En este estudio se encuentra diferencia significativa entre las manos de personas que si dispararon un arma con respecto a las manos de personas que no dispararon. Al comparar los valores de las manos de las personas que si dispararon se observa que en la mano derecha la concentración es más alta.

	Disparo		No disparo	
	Mano derecha	Mano izquierda	Mano derecha	Mano izquierda
Promedio	1363.8	865.5	1712.7	1777.4
n	179	179	27	27
e. e. m.	115.3	79.7	521.9	589.2
Máximo	9798.0	9408.0	9999.9	9999.0
Mínimo	50.0	54.0	0.0	24.0

**Cuadro 5. Concentración de bario (ppb) en manos de personas que realizaron disparo de arma de fuego y de personas que no dispararon.**

Respecto a las personas que hicieron el disparo se observa una mayor concentración de bario en la mano derecha que en la mano izquierda. Los

valores de concentración de bario encontrado en las manos derecha e izquierda de personas que no dispararon son mayores que los valores obtenidos en personas que si dispararon. Se observa que si hay diferencia significativa entre la concentración media de bario en manos de personas que no dispararon con respecto a las que si dispararon.

	Disparo		No disparo	
	Mano derecha	Mano izquierda	Mano derecha	Mano izquierda
Promedio	81.9	42.4	0.3	1.2
N	179	179	27	27
e. e. m.	9.7	6.3	0.3	1.1
Máximo	981.0	707.0	8.0	31.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0

**Cuadro 6. Concentración de antimonio (ppb) en manos de personas que realizaron disparo de arma de fuego y de personas que no dispararon.**

Como se puede observar los valores de antimonio en manos de personas que hicieron disparo son mayores que los de las personas que no dispararon esta diferencia es estadísticamente significativa. En este trabajo se concluyó que la presencia de antimonio puede ser un indicador confiable de residuos por disparo de arma de fuego, en conjunto con la presencia de plomo y bario, dado que las concentraciones de estos metales muestran diferencia significativa entre las halladas en manos de personas que dispararon con respecto a las que no lo hicieron.

Marquez Ángeles, (35) efectuó un estudio donde se evaluaron las concentraciones de plomo, bario y antimonio en las cuatro regiones de interés (palma derecha, palma izquierda, dorso derecho y dorso izquierdo) y encontró que la concentración de los tres metales se incrementa conforme aumenta el número de disparos efectuados, guardando una relación directamente proporcional. Un hallazgo más fue que la concentración de los tres metales es mayor en las regiones dorso derecho y palma derecha, siendo más alta en el

dorso; debido a que el cono de deflagración tiene mayor contacto con esta región de la mano, considerando que las personas que dispararon son diestras y que la mano izquierda solo se utiliza como apoyo al realizar el disparo.

Los datos obtenidos por Marquez Ángeles, (35) se muestran en los cuadros siguientes. (Cuadro 7 a 18)

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	47.1	159.2	37.5	27.2
	26.1	39.8	22.9	16.6
	24.6	18.9	55.8	16.5
	341.4	41.2	34.8	39.7
	41.3	55.7	17.5	135.5
Promedio	96.1	62.96	33.7	47.1
N	5	5	5	5
Máximo	341.4	159.2	55.8	135.5
Mínimo	24.6	18.9	17.5	16.5

**Cuadro 7. Concentración de plomo (ppb) antes de disparar**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	111.8	32	381.2	40.6
	129.3	289.5	215.3	41.5
	111.5	222.2	222.2	21.5
	110	83.9	318.4	33.8
	134.6	76.3	174.5	42.5
Promedio	119.44	140.78	262.32	35.98
n	5	5	5	5
Máximo	134.6	289.5	381.2	42.5
Mínimo	110	32	174.5	21.5

**Cuadro 8. Concentración de plomo (ppb) después de efectuar un disparo**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	73.7	82.7	83.2	32.4
	88.8	196.8	66.4	35.4
	84.4	23.4	148	30.7
	209.2	90.2	143.3	68.3
	142.6	144.3	149.6	29.4
Promedio	119.74	107.48	118.1	39.24
n	5	5	5	5
Máximo	209.2	196.8	149.6	68.3
Mínimo	73.7	23.4	66.4	29.4

**Cuadro 9. Concentración de plomo (ppb) después de efectuar tres disparos**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	111.8	32	381.2	40.6
	129.3	289.5	215.3	41.5
	111.5	222.2	222.2	21.5
	110	83.9	318.4	33.8
	134.6	76.3	174.5	42.5
Promedio	119.44	140.78	262.32	35.98
N	5	5	5	5
Máximo	134.6	289.5	381.2	42.5
Mínimo	110	32	174.5	21.5

**Cuadro 10. Concentración de plomo (ppb) después de efectuar cuatro disparos**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	98.2	140.2	97.2	74.4
	104.5	79.2	88.3	71.5
	77.2	124.3	117.5	84.5
	117.1	231.4	98.6	104.4
	40.8	121.9	49.2	172.6
Promedio	87.56	139.4	90.16	101.48
N	5	5	5	5
Máximo	117.1	231.4	117.5	172.6
Mínimo	40.8	79.2	49.2	71.5

**Cuadro 11. Concentración de bario (ppb) antes de disparar**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	170.2	100.9	70.5	100.3
	51.7	48.9	79.6	83.7
	75.4	57.2	70.4	114.4
	165.9	61.3	159.8	58.7
	88.9	174.6	344.2	43.6
Promedio	110.42	88.58	144.9	80.14
n	5	5	5	5
Máximo	170.2	174.6	344.2	114.4
Mínimo	51.7	48.9	70.4	43.6

**Cuadro 12. Concentración de bario (ppb) después de efectuar un disparo**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	98.1	52.5	193	71.4
	291	63.7	140.8	69.2
	345.4	82.9	345.2	94.1
	307.4	137.1	746.2	141.9
	300.7	284.8	147.6	77.8
Promedio	268.52	124.2	314.56	90.88
N	5	5	5	5
Máximo	345.4	284.8	746.2	141.9
Mínimo	98.1	52.5	140.8	69.2

**Cuadro 13. Concentración de bario (ppb) después de efectuar tres disparos**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	327.7	98.6	532.8	107.3
	322.3	135	316.3	97
	208.5	125.2	464.8	131.1
	213.5	46.9	524.4	356.7
	242.9	211.1	240.2	128
Promedio	262.98	123.36	415.7	164.02
N	5	5	5	5
Máximo	327.7	211.1	532.8	356.7
Mínimo	208.5	46.9	240.2	97

**Cuadro 14. Concentración de bario (ppb) después de efectuar cuatro disparos**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND
Promedio	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
N	5	5	5	5
Máximo	0	0	0	0
Mínimo	0	0	0	0

**Cuadro 15. Concentración de antimonio (ppb) antes de disparar**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	1.9	ND
	ND	ND	ND	ND
	ND	ND	2.9	ND
	ND	ND	15.3	ND
Promedio	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	6.7	#¡DIV/0!
n	5	5	5	5
Máximo	0	0	15.3	0
Mínimo	0	0	1.9	0

**Cuadro 16. Concentración de antimonio (ppb) después de efectuar un disparo**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	3.3	ND	11.6	ND
	7	ND	29.9	ND
	16.8	ND	20.2	1.9
	29.6	3.2	ND	3.4
	18.9	8.4	27.2	ND
Promedio	15.12	5.8	22.225	2.65
n	5	5	5	5
Máximo	29.6	8.4	29.9	3.4
Mínimo	3.3	3.2	11.6	1.9

**Cuadro 17. Concentración de antimonio (ppb) después de efectuar tres disparos**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
	11.8	2	31.2	10.6
	9.3	4.5	15.3	2
	11.5	2.2	22.2	1.5
	15.7	3.9	38.4	3.4
	15.3	4.5	15.2	3.3
Promedio	12.72	3.42	24.46	4.16
N	5	5	5	5
Máximo	15.7	4.5	38.4	10.6
Mínimo	9.3	2	15.2	1.5

**Cuadro 18. Concentración de antimonio (ppb) después de efectuar cuatro disparos**

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a los materiales que se utilizan en algunas labores, los trabajadores pueden contener en las manos determinadas cantidades de Plomo, Bario y Antimonio, metales que son indicadores de haber efectuado un disparo de arma de fuego; los resultados en una cuantificación de RDAF de estos metales en manos son afectados por la cantidad que puede contener el individuo proveniente del medio ambiente y del contacto que comúnmente tenga con ellos debido a su profesión. De tal manera que se podría inculpar a alguien debido a un resulta falso positivo o bien deliberar inocencia a alguien que alegase contacto frecuente con alguno de estos metales.

Por lo tanto se deduce la necesidad de determinar la relación existente entre las cantidades presentes de estos metales en la palma y las cantidades presentes en el dorso de las manos de trabajadores que estén en contacto con ellos con respecto a los obtenidos al disparar un arma de fuego.

### **IV. OBJETIVOS**

1. Establecer la relación de concentración en la palma y dorso de ambas manos en personas dedicadas a actividades laborales que impliquen la presencia de estos metales.
2. Estandarizar los niveles de plomo, bario y antimonio en las manos de una persona con un oficio determinado.
3. Establecer la relación entre los valores obtenidos en las profesiones relacionadas con plomo, bario y antimonio con respecto a los residuos presentes en las manos después de un disparo de arma de fuego.

## **V. HIPÓTESIS**

Las cantidades de plomo, bario y antimonio contenidas en las manos de personas dedicadas a diferentes actividades laborales se relacionan con la cantidad en que estos metales se encuentran presentes en los materiales manipulados; la relación en la concentración de los residuos de estos elementos en palma y dorso de la mano derecha e izquierda permitirá diferir de las personas que han efectuado un disparo de arma de fuego.

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **MATERIAL, REACTIVOS E INSTRUMENTOS**

#### **MATERIAL**

- Micropipetas 500 y 1000  $\mu\text{L}$
- Puntas de plástico para micropipetas
- Matraces volumétricos 10, 50, 100 y 200 mL
- Tubos de ensaye de 10 X 100 mm
- Guantes de látex
- Tela 100 % de algodón
- Vortex

#### **REACTIVOS**

- Ácido nítrico suprapuro (65%) Merck
- Agua bidestilada
- $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  al 10% marca Spectro pure
- Tritón X-100 grado laboratorio, Sigma-Aldrich
- Soluciones de referencia de plomo, bario y antimonio (1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )
- $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  al 10 % marca Spectro pure

## **METODOLOGÍA**

### **CONDICIONES INSTRUMENTALES**

- Modelo del instrumento: Perkin-Elmer SIMAA 6000 GFAA
- Tubo de grafito transversal recubierto con carbón pirolítico Perkin-Elmer
- Plataforma de L'Vov integrada al tubo de grafito
- Corrector de fondo Zeeman
- Lámpara de cátodo hueco Perkin Elmer Lumina para plomo, bario y antimonio
- Línea de resonancia: 357.9 nm

### **ESPECIFICACIONES DE ANÁLISIS**

- Volumen de inyección total: 40  $\mu$ L
- Volumen de la muestra: 20  $\mu$ L
- Modificador de matriz: Nitrato de magnesio
- Volumen del modificador de Matriz: 10  $\mu$ L
- Volumen de ácido nítrico al 5% como diluyente: 10  $\mu$ L
- Ecuación de calibración: Lineal con intercepto en el cero
- Secuencia de Pipeteado: modificador de matriz+ muestra/estándar+ diluyente

### **SELECCIÓN DE LOS INDIVIDUOS**

En el presente estudio experimental se empleó una población que consta de siete grupos de veinte individuos en cuya actividad laboral es constante el contacto con alguno o con los tres elementos en cuestión (vendedores de pintura, fabricantes de fuegos pirotécnicos, albañiles, herreros, mecánicos, vendedores de gasolina y electricistas), un grupo del mismo número de individuos cuya actividad laboral no tiene contacto constante con estos metales (estudiantes). Se determinó la

concentración de cada metal en cuestión encontrado en cada una de las zonas de muestreo establecidas.

## **TOMA DE MUESTRAS**

Las muestras se tomaron con fragmentos de tela 100% de algodón (cabeza de indio) de acuerdo al procedimiento que se describe a continuación

### **TRATAMIENTO DE LA TELA**

2. Lavar la tela repetidas veces con jabón de pasta y agua desionizada, tallando para retirar el apresto.
3. Hervir la tela en agua desionizada por 10 minutos
4. Dejar secar en un ambiente cerrado, sobre una superficie libre de metales y alejado de corrientes de aire.
5. Recortar cuadros de 2 cm X 2 cm
6. Almacenar los fragmentos de tela en una solución de ácido nítrico 2%.

### **PROCEDIMIENTO**

1. Tomar cuatro fragmentos de tela impregnados con solución de ácido nítrico al 2%
2. Utilizando guantes de látex desechables, tomar las muestras de cada individuo frotando enérgicamente las zonas típicas de maculación: palma, dorso y el área entre el dedo índice y pulgar de ambas manos. Figura 13
3. Cada muestra se coloca en diferentes bolsas de polietileno previamente marcadas como dorso derecho, palma derecha, dorso izquierdo y palma izquierda indicando la actividad laboral que desempeña el individuo.

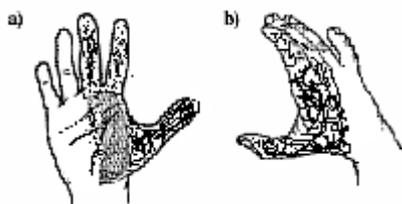


Figura 13. Regiones de las manos sometidas a muestreo  
a) Palma      b) Dorso y el área entre el dedo índice y pulgar  
de ambas manos

### **TRATAMIENTO DE LA MUESTRA**

1. Colocar un fragmento de tela en un tubo de ensayo previamente rotulado
2. Agregar 2 mL de ácido nítrico al 2%
3. Agitar en vortex durante 3 minutos
4. Vaciar el líquido en una cubeta muestreadora previamente rotulada

### **PREPARACIÓN DE LA CURVA DE REFERENCIA (SOLUCIÓN DE REFERENCIA DE CONCENTRACIÓN 200 ppb)**

1. Preparar una solución de referencia cuya concentración final de cada metal (Plomo, Bario y Antimonio), sea de 200 ppb (200  $\mu\text{g/L}$ , 0.2  $\mu\text{g/ mL}$ ) a partir de las soluciones de referencia de 1000 ppb de Plomo, Bario y Antimonio; emplear como diluyente una solución de ácido nítrico al 2 %.
2. Vaciar el líquido en una cubeta muestreadora previamente rotulada

## **ANÁLISIS**

1. Programar el equipo de acuerdo a las condiciones requeridas para el análisis, considerar que para el caso de la curva de referencia se inyectarán volúmenes de la solución estándar de concentración 200 ppb, adecuados para obtener una curva de calibración cuyos niveles sean 40 ppb, 80 ppb, 120 ppb, 160 ppb y 200 ppb.
2. Colocar en el carrusel de muestreo las siguientes soluciones en cubetas muestreadoras, en las posiciones previamente indicadas en el instrumento:
  - Solución de ácido nítrico al 2%
  - Modificador de matriz
  - Solución estándar de concentración 200 ppb
  - Muestras
3. Efectuar el análisis mediante el equipo de cada metal en las muestras de acuerdo a las condiciones instrumentales previamente mencionadas.
4. Calcular la concentración de cada metal a partir de una curva de calibración previamente analizada.
5. Determinar la cantidad presente de cada metal en las zonas de las manos en las cuales se tomaron muestras.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se realizó la comparación de medias de la concentración de cada metal entre cada región de las manos sometidas a muestreo para cada oficio desempeñado mediante la prueba de Tukey-Kramer. Lo anterior mediante el programa estadístico Graph Pad InStat 3.

## VII. RESULTADOS

Los resultados son expresados en los gráficos como la media  $\pm$  e.e.m (error estándar de la media) en partes por billón (ppb) por región de muestreo: PD (palma derecha), PI (palma izquierda), DD (dorso derecho), DI (dorso izquierdo).

### 1. Personas que por sus actividades no se encuentran en contacto directo con plomo, bario y antimonio (normales)

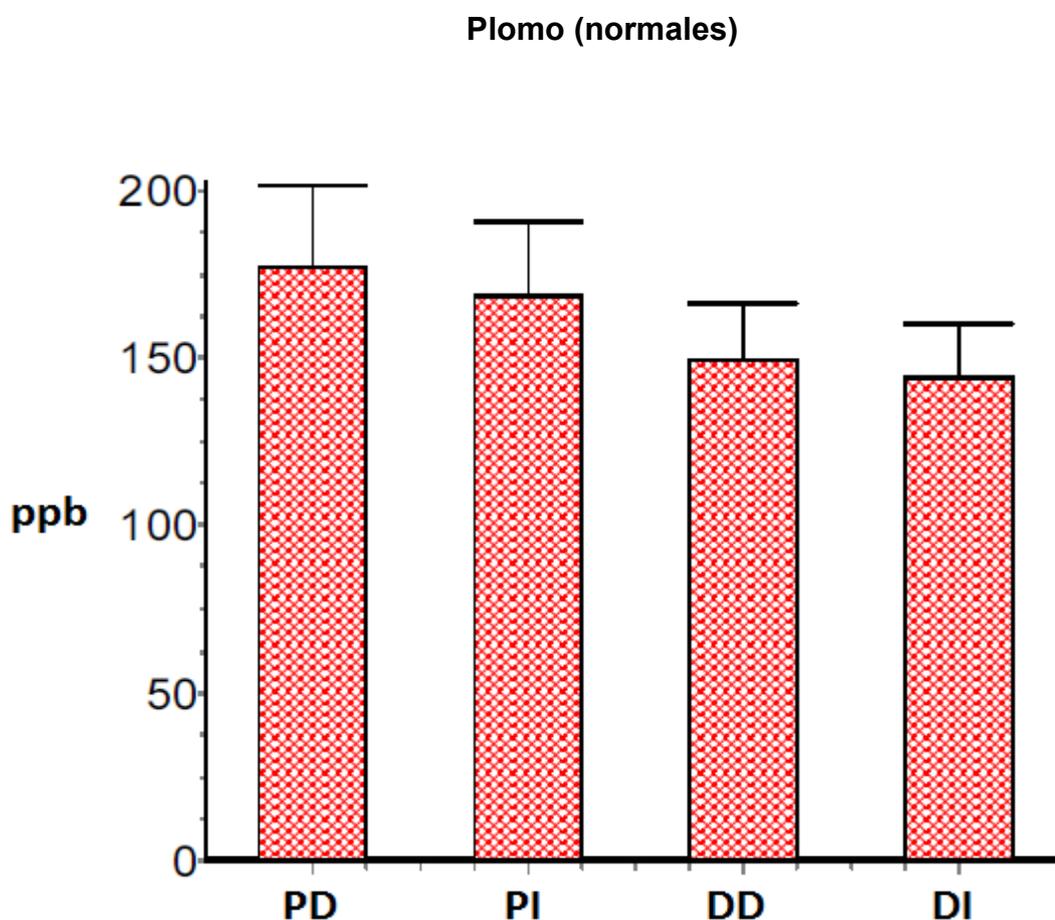
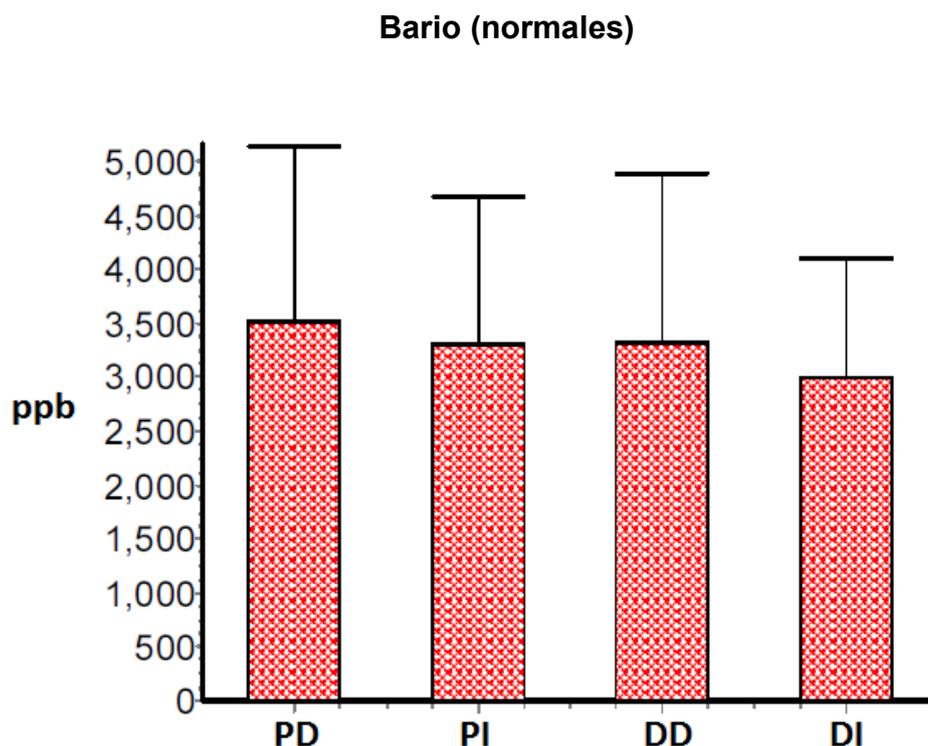


Figura 14. Concentración de plomo en manos de personas que por sus actividades no tienen contacto directo con este metal.

	PD	PI	DD	DI
<b>Promedio</b>	176.6	168.4	149.6	143.9
<b>D. E.</b>	110.7	100.2	74.6	71.4
<b>n</b>	20	20	20	20
<b>e.e.m.</b>	24.7	22.4	16.7	16.0
<b>Máximo</b>	438.6	426.4	284.8	252.7
<b>Mínimo</b>	54.9	52.0	42.1	40.0

**Cuadro 19. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas que por sus actividades no tienen contacto directo con este metal.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ )



**Figura 15. Concentración de bario en manos de personas que por sus actividades no tienen contacto directo con este metal.**

	PD	PI	DD	DI
<b>Promedio</b>	3521.3	3308.3	3318.1	2996.8
<b>D. E.</b>	1615.9	1359.4	1566.5	1101.1
<b>n</b>	20	20	20	20
<b>e. e. m.</b>	361.3	304.0	350.3	246.2
<b>Máximo</b>	7659.0	6459.0	7364.0	5139.0
<b>Mínimo</b>	1017.0	1342.0	997.6	1145.0

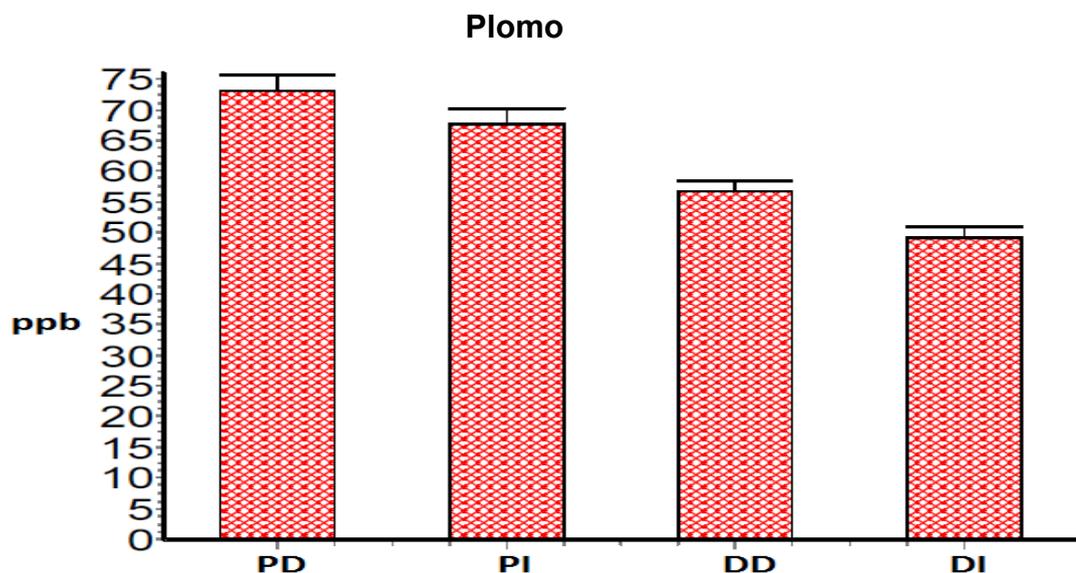
**Cuadro 20. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas que por sus actividades no tienen contacto directo con este metal.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

### Antimonio

No se detectó antimonio en las diferentes zonas de muestreo de las manos de las personas que por sus actividades no tienen contacto directo con este metal.

## 2. Personas dedicadas al oficio de la construcción (albañiles)

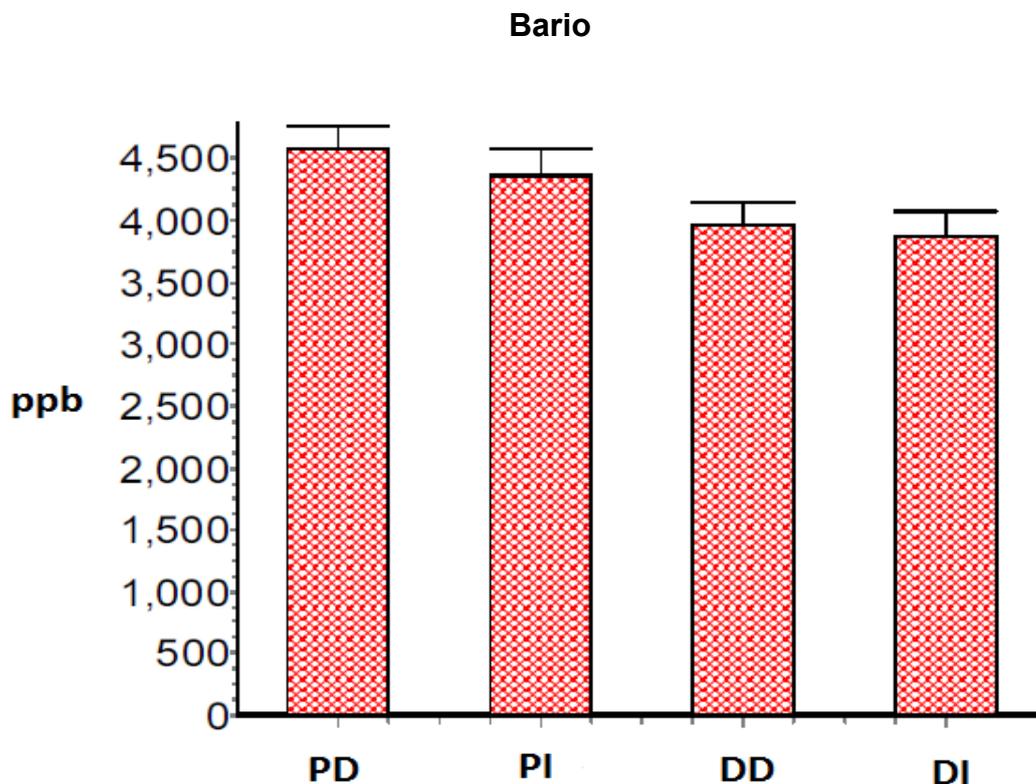


**Figura 16. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de albañil.**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
Promedio	73.1	67.7	56.6	49.1
D. E.	11.7	10.8	7.5	7.9
n	20	20	20	20
e. e. m.	2.6	2.4	1.7	1.8
Máximo	97.3	86.4	68.5	60.4
Mínimo	57.1	49.8	41.3	26.9

**Cuadro 21. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de albañil.**

No se observa diferencia significativa entre palma derecha-palma izquierda y dorso derecho-dorso izquierdo ( $P > 0.05$ ); se presenta una diferencia significativa entre palma derecha-dorso derecho y palma izquierda-dorso izquierdo ( $P < 0.05$  respecto a los valores obtenidos entre palma y dorso).



**Figura 17. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de albañil**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	4578.9	4357.6	3972.1	3876.6
D. E.	819.3	987.4	785.0	867.4
n	20	20	20	20
e. e. m.	183.2	220.8	175.5	194.0
Máximo	5751.0	6604.0	6094.0	6545.0
Mínimo	3010.0	2294.0	2454.0	2439.0

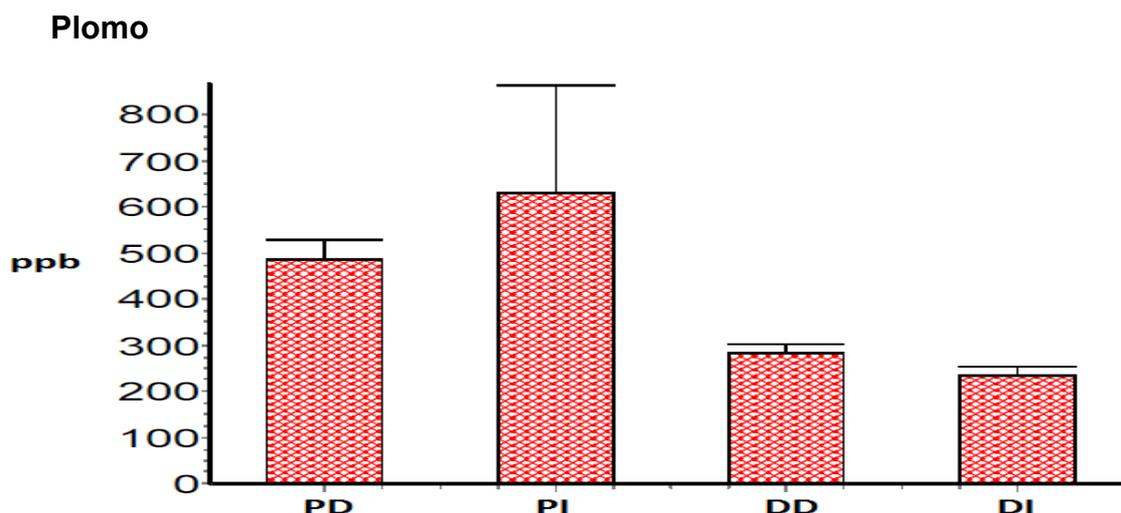
**Cuadro 22. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de albañil.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ )

### Antimonio

No se detectó antimonio en las diferentes zonas de muestreo de las manos de las personas dedicadas al oficio de albañil.

### 3. Personas dedicadas al oficio de electricidad (electricistas)

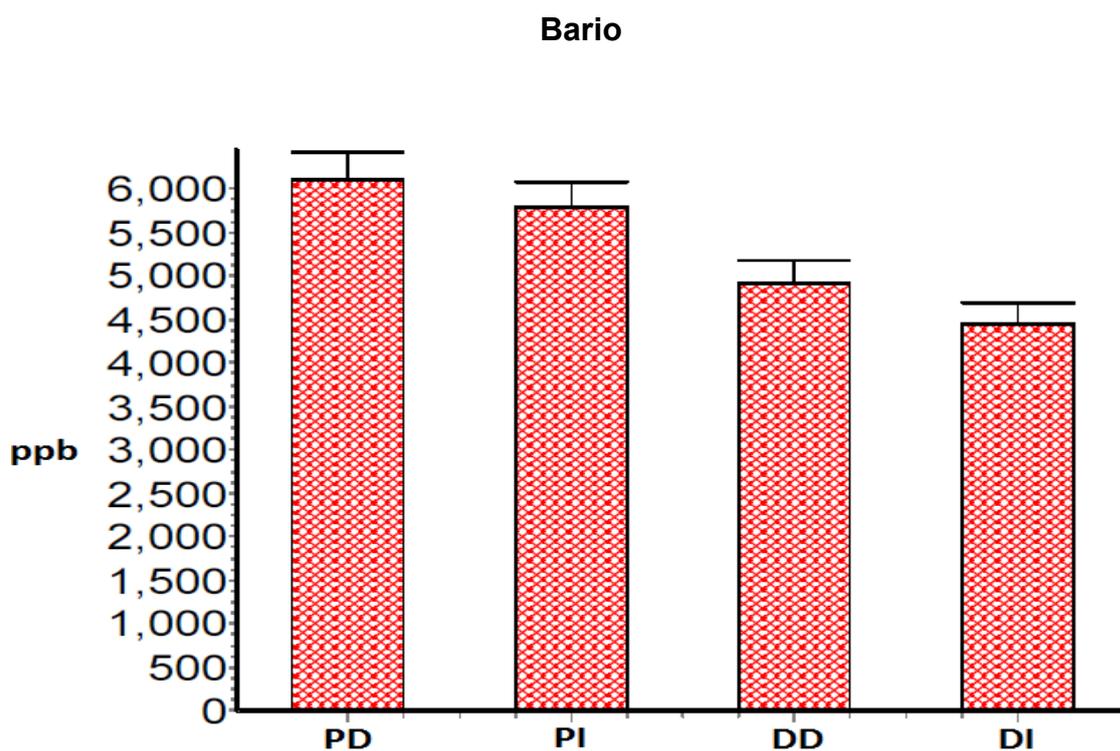


**Figura 18. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de electricista.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	484.6	631.2	281.8	234.0
D. E.	192.9	1039.8	89.1	83.1
n	20	20	20	20
e. e. m.	43.1	232.5	19.9	18.6
Máximo	896.1	5002.0	421.6	409.8
Mínimo	201.0	183.8	150.4	101.1

**Cuadro 23. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de electricista.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ )

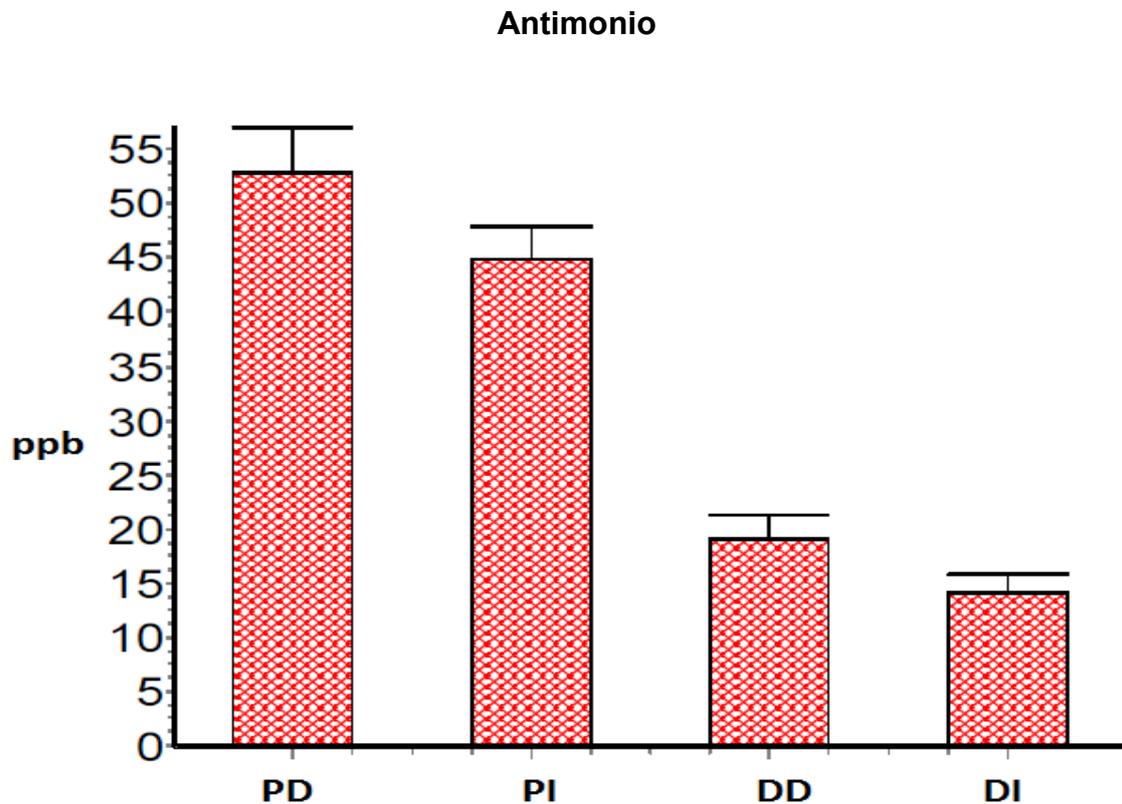


**Figura 19. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de electricistas.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	6103.0	5788.0	4905.1	4455.9
D. E.	1439.6	1290.6	1224.3	1085.3
n	20	20	20	20
e. e. m.	321.9	288.6	273.8	242.7
Máximo	8901.4	8206.2	7531.0	7109.6
Mínimo	3060.3	2511.0	2000.4	1804.0

**Cuadro 24. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de electricistas.**

No se observa diferencia significativa entre palma derecha e izquierda y entre dorso derecho e izquierdo ( $P > 0.05$ ) y se presenta una diferencia significativa entre palma derecha dorso derecho y palma izquierda dorso izquierdo ( $P < 0.05$  respecto a los valores obtenidos entre palma y dorso).



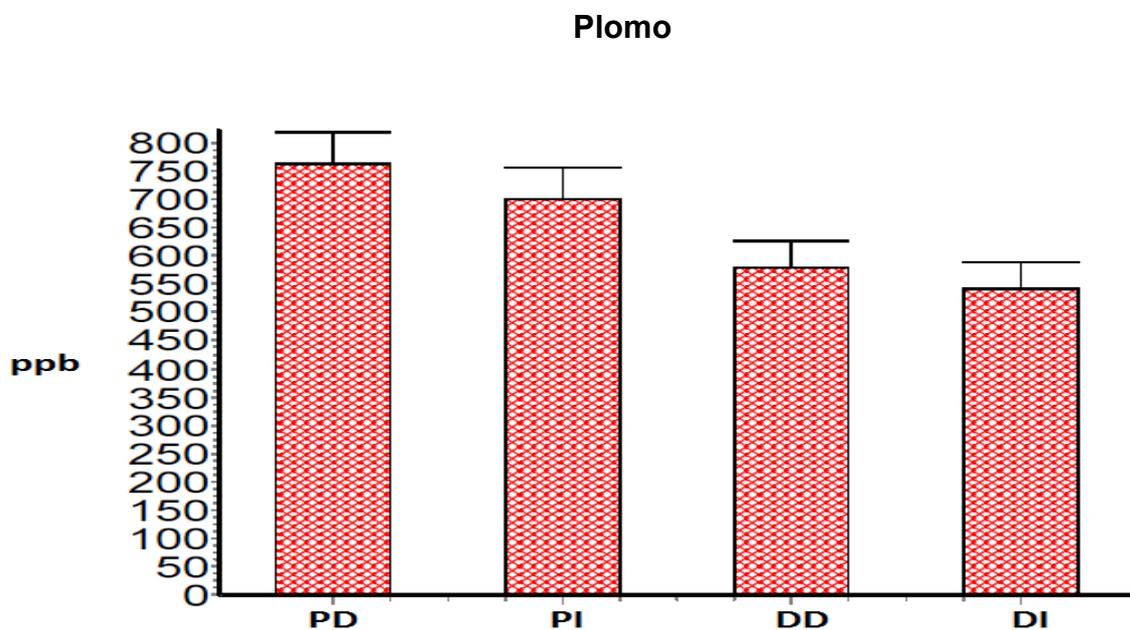
**Figura 20. Concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de electricistas.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	52.9	44.9	19.0	14.1
D. E.	18.2	13.6	9.9	7.9
n	20	20	20	20
e. e. m.	4.1	3.0	2.2	1.8
Máximo	88.7	64.1	45.1	31.0
Mínimo	23.0	19.0	8.9	4.1

**Cuadro 25. Análisis de los datos de concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de electricistas.**

No se observa diferencia significativa entre palma derecha e izquierda y entre dorso derecho e izquierdo ( $P > 0.05$ ) y se presenta una diferencia significativa entre palma derecha dorso derecho y palma izquierda dorso izquierdo ( $P < 0.05$  respecto a los valores obtenidos entre palma y dorso).

#### 4. Personas dedicadas al oficio de venta de gasolina

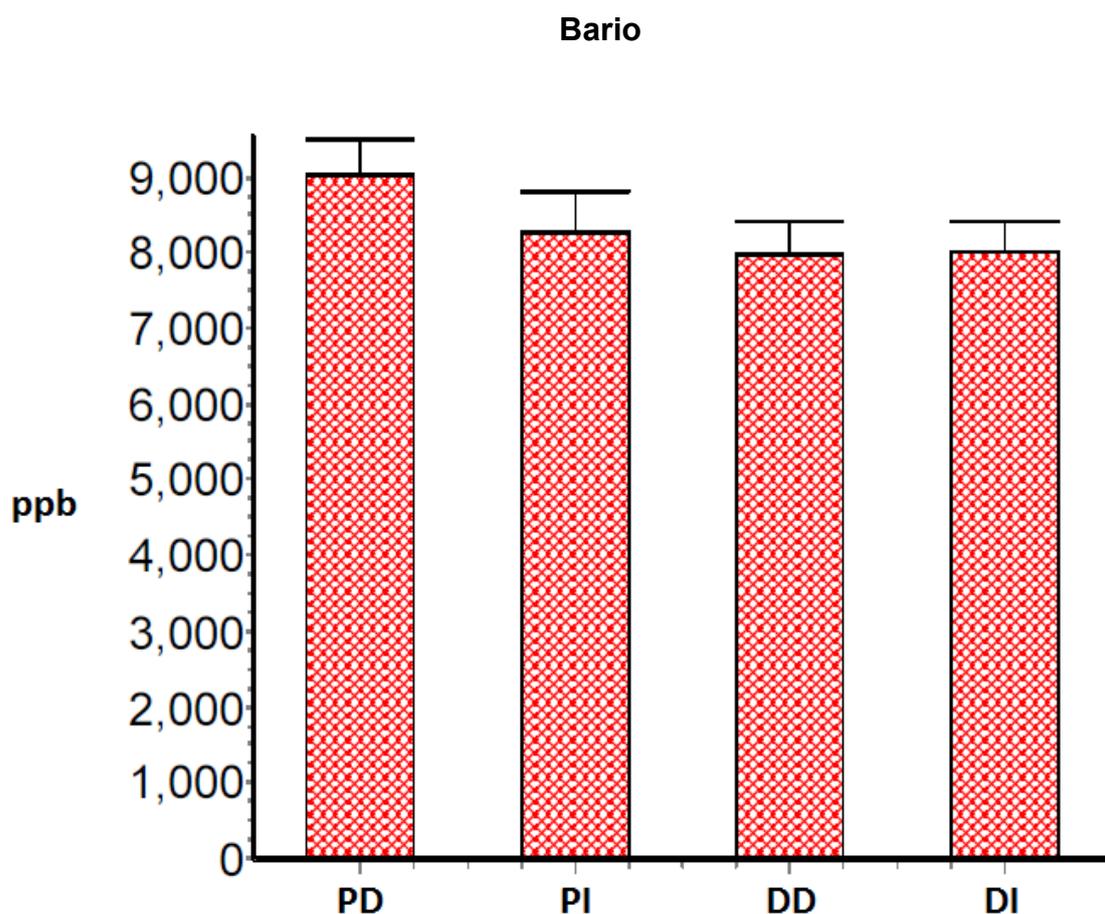


**Figura 21. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de vendedor de gasolina.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	763.7	700.3	578.2	541.3
D. E.	246.4	246.8	215.8	208.1
n	20	20	20	20
e. e. m.	55.1	55.2	48.2	46.5
Máximo	896.1	5002.0	421.6	409.8
Mínimo	377.0	314.6	304.2	230.6

**Cuadro 26. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de gasolina.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

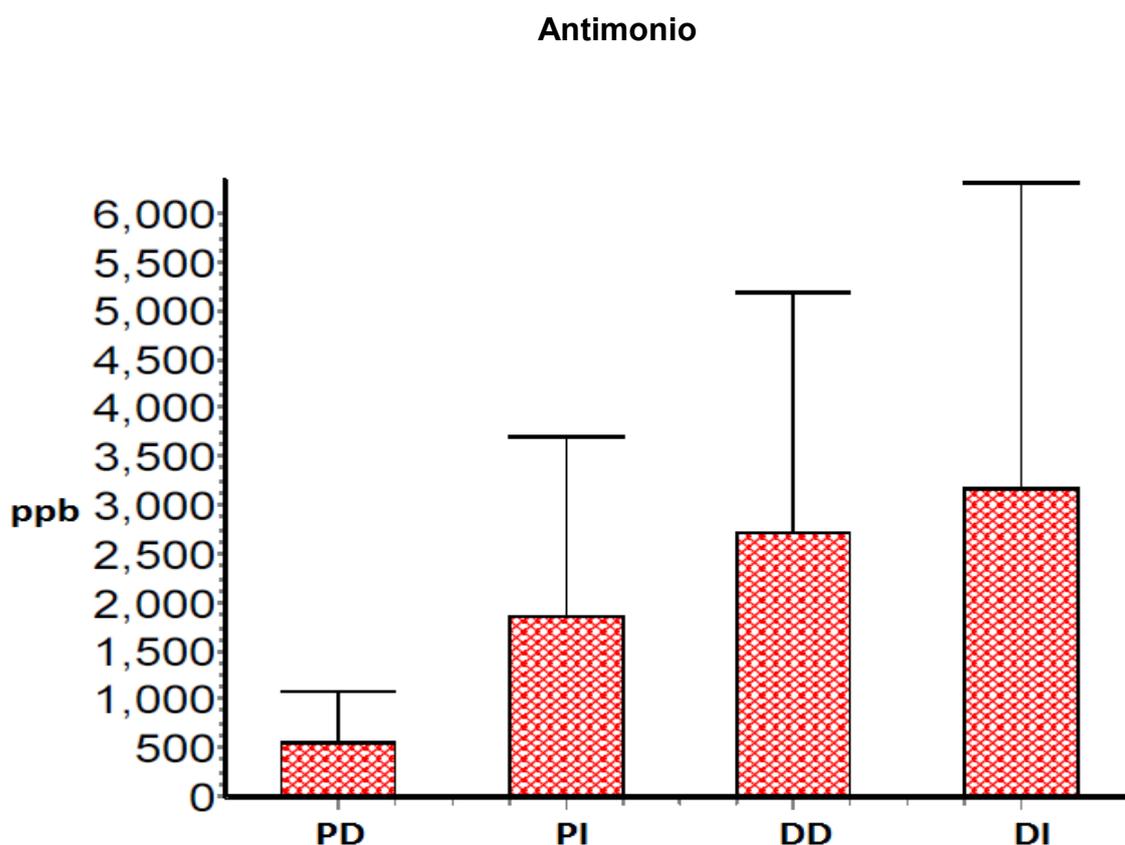


**Figura 22. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de vendedor de gasolina.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	9014.4	8271.6	7978.2	7998.9
D. E.	2144.9	2352.6	2009.5	1883.6
n	20	20	20	20
e. e. m.	479.6	526.1	449.3	421.2
Máximo	12416.0	11182.0	10756.0	10820.0
Mínimo	3883.0	1108.0	3178.0	4201.0

**Cuadro 27. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de gasolina.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).



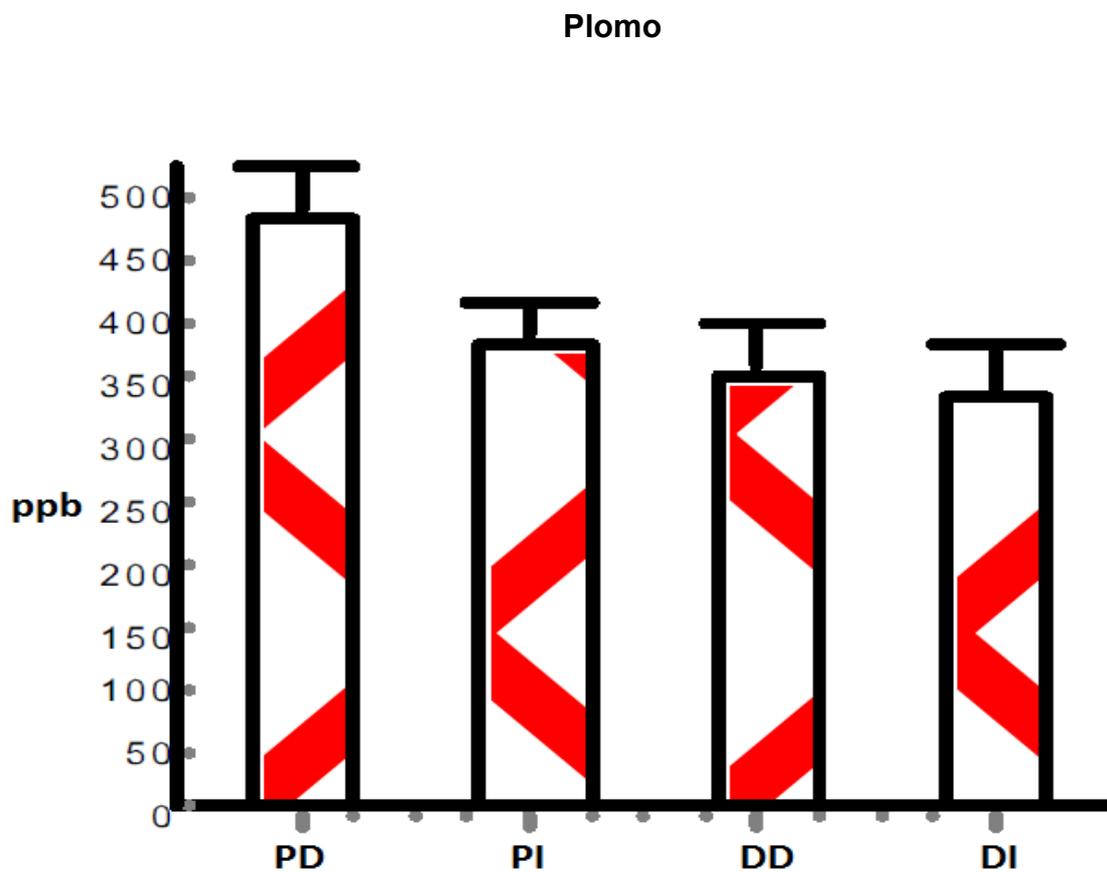
**Figura 23. Concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de vendedor de gasolina.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	550.6	1856.9	2709.7	3159.7
D. E.	2416.5	8262.2	11078.0	14109.0
n	20	20	20	20
e. e. m.	540.4	1847.5	2477.0	3154.8
Máximo	10817.0	36959.0	49579.0	63101.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0

**Cuadro 28. Análisis de los datos de concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de gasolina.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

### 5. Personas dedicadas al oficio de herrería (herrereros)

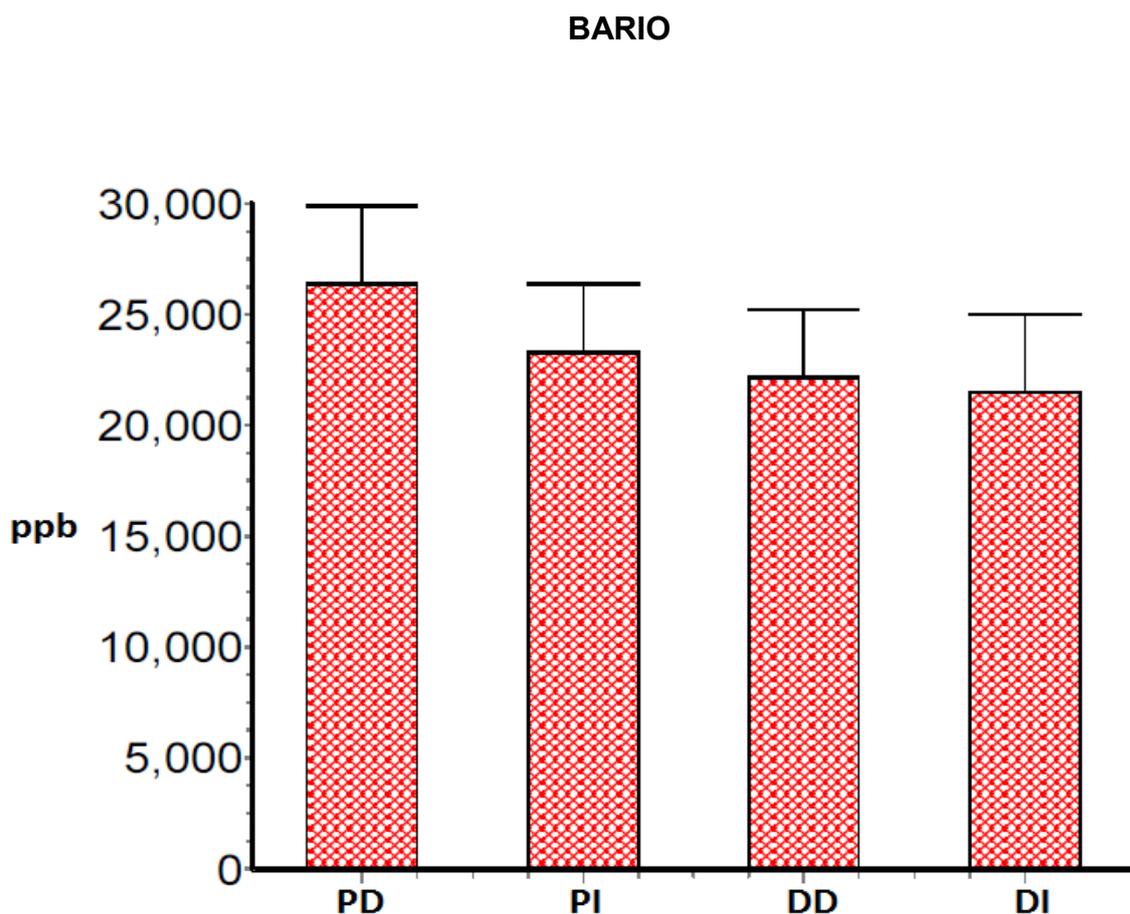


**Figura 24. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	488.0	387.1	363.0	339.9
D. E.	170.3	122.7	148.1	177.1
n	20	20	20	20
e. e. m.	38.1	27.4	33.1	39.6
Máximo	742.0	586.0	603.2	705.0
Mínimo	179.6	126.0	105.0	118.1

**Cuadro 29. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).



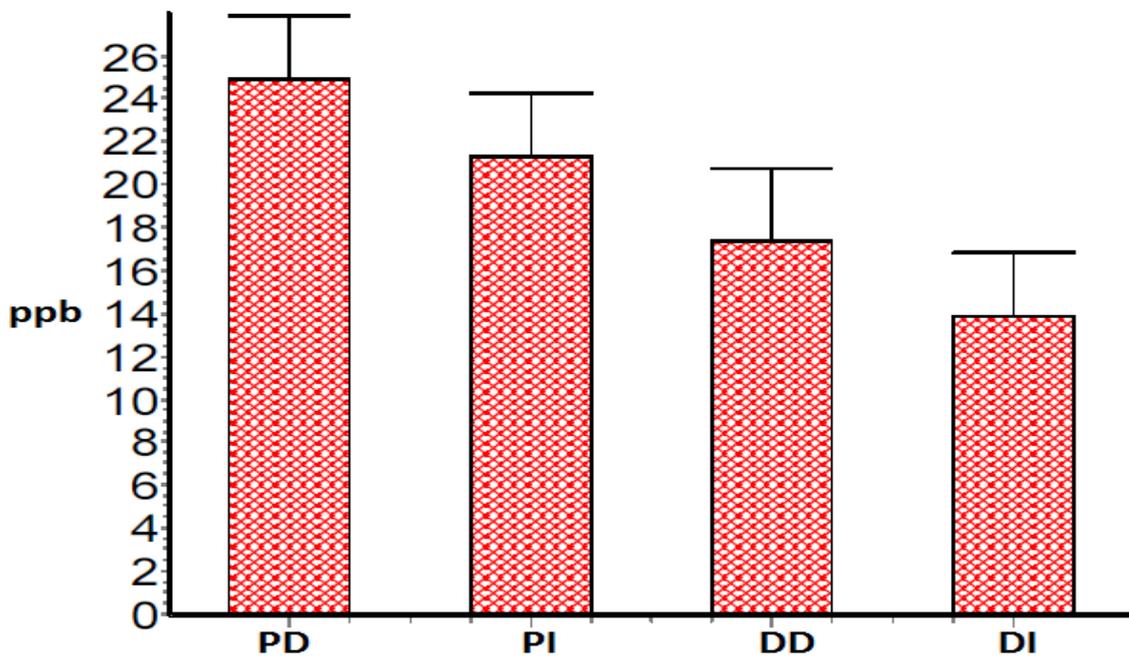
**Figura 25. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	26420.3	23300.0	22149.6	21528.6
D. E.	15691.0	14113.0	14166.0	15559.0
n	20	20	20	20
e. e. m.	3508.5	3155.8	3167.6	3479.2
Máximo	58120.0	56700.0	54080.0	60630.0
Mínimo	9316.0	8900.0	7381.0	6533.0

**Cuadro 30. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

### Antimonio



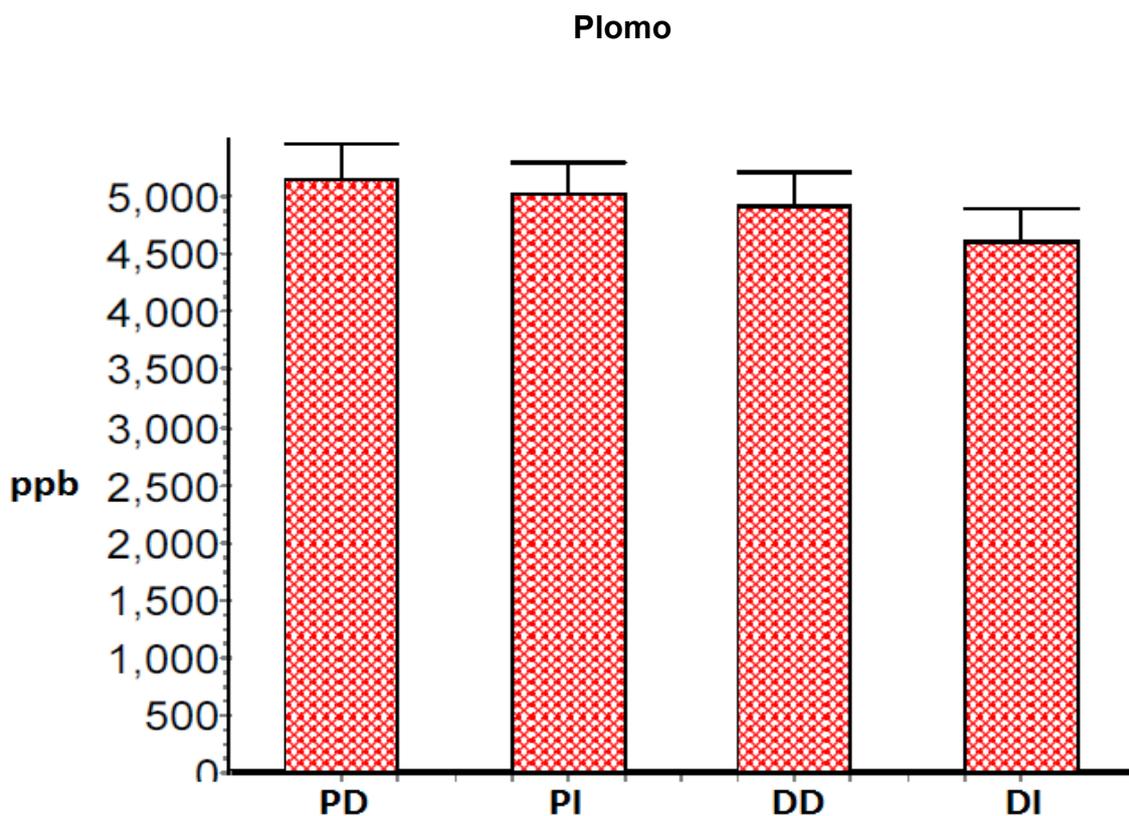
**Figura 26. Concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	24.8	21.2	17.4	13.9
D. E.	13.5	13.5	15.2	13.3
N	20	20	20	20
e. e. m.	3.0	3.0	3.4	3.0
Máximo	45.0	40.0	41.5	39.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0

**Cuadro 31. Análisis de los datos de concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de herrería.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

**6. Personas dedicadas al oficio de mecánica (mecánicos).**

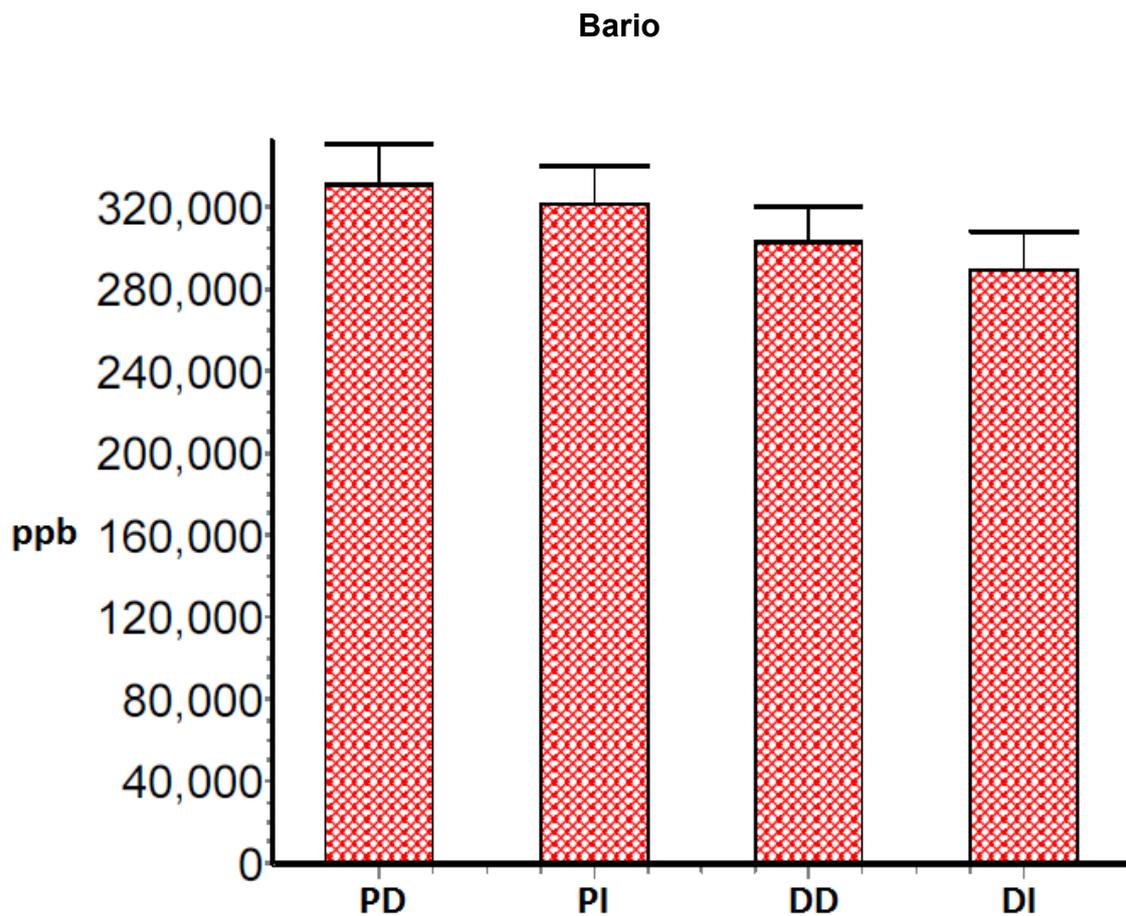


**Figura 27. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de mecánica.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	5160.2	5025.4	4914.9	4601.6
D. E.	1352.1	1205.4	1340.3	1314.7
n	20	20	20	20
e. e. m.	302.3	269.5	299.7	294.0
Máximo	7867.6	7475.0	7515.0	7150.0
Mínimo	3249.4	3111.0	3114.3	3133.6

**Cuadro 32. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de mecánica.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).



**Figura 28. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de mecánica.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	330810.6	320534.1	302559.2	289699.9
D. E.	87803.0	87574.0	76887.0	79325.0
n	20	20	20	20
e. e. m.	19633.0	19582.0	17192.0	17738.0
Máximo	470180.0	452800.0	431679.0	430987.0
Mínimo	166668.0	138108.0	162551.0	127240.0

**Cuadro 33. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de mecánica.**

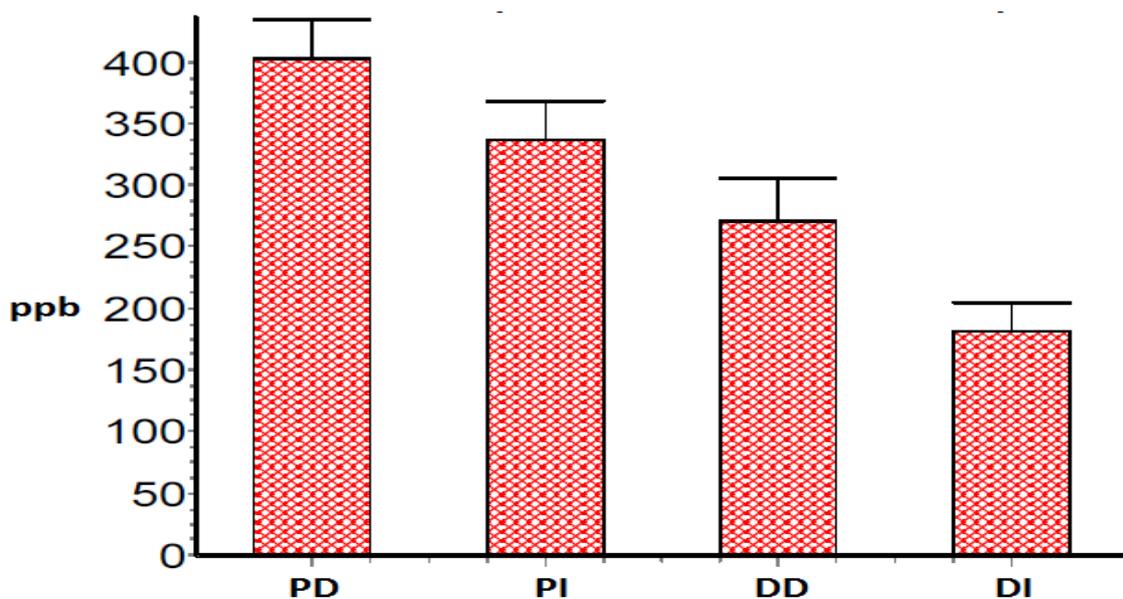
Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

### Antimonio

No se detectó antimonio en las diferentes zonas de muestreo de las manos de las personas dedicadas al oficio de mecánica.

## 7. Vendedores de pintura

### Plomo

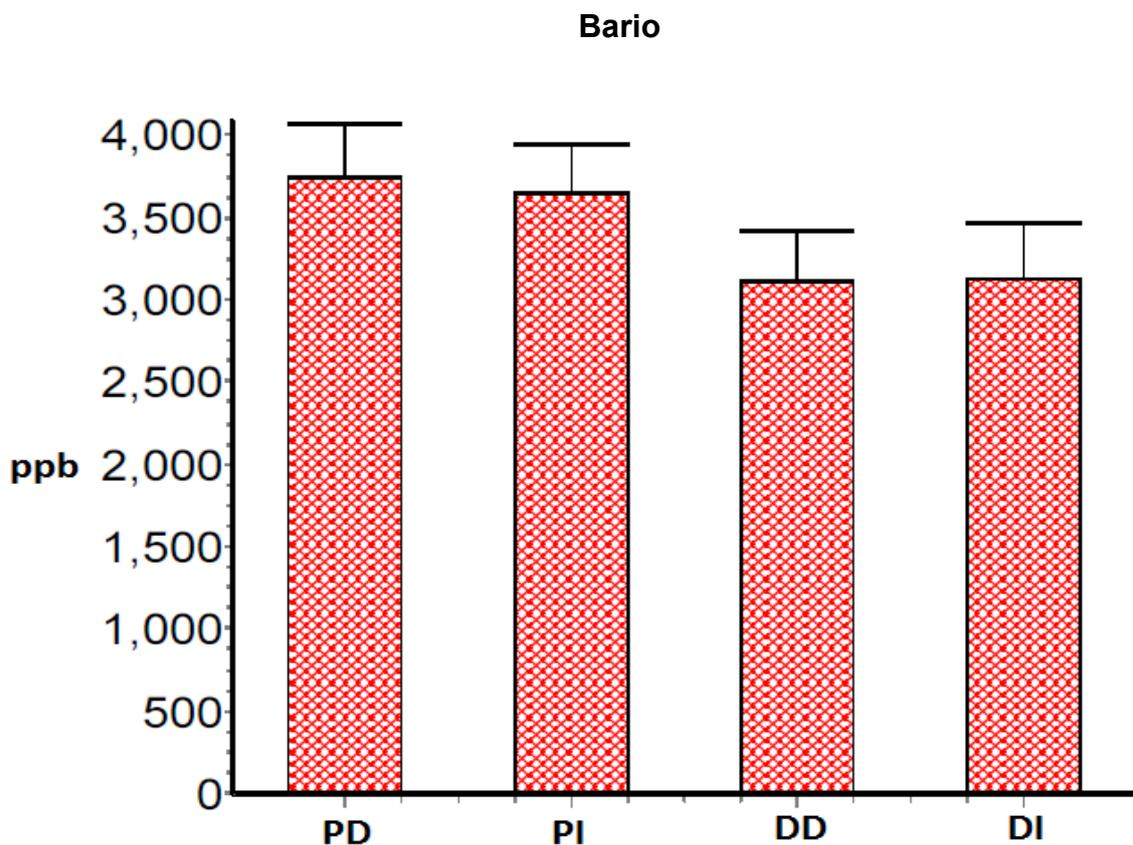


**Figura 29. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de pintura.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	402.5	337.2	270.3	182.0
D. E.	140.3	135.4	155.8	99.7
n	20	20	20	20
e. e. m.	31.374	30.278	34.845	22.296
Máximo	601.0	606.0	548.0	370.4
Mínimo	85.0	25.8	30.0	25.4

**Cuadro 34. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de pintura**

No se observa diferencia significativa entre palma derecha e izquierda y entre dorso derecho e izquierdo ( $P > 0.05$ ) y se presenta una diferencia significativa entre palma derecha dorso derecho y palma izquierda dorso izquierdo ( $P < 0.05$  respecto a los valores obtenidos entre palma y dorso).



**Figura 30. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de pintura.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	3739.0	3650.6	3116.9	3133.1
D. E.	1478.7	1318.2	1385.5	1481.0
n	20	20	20	20
e. e. m.	330.7	294.8	309.8	331.2
Máximo	7975.0	7154.0	6427.0	6775.0
Mínimo	1181.0	1235.0	1034.0	1002.0

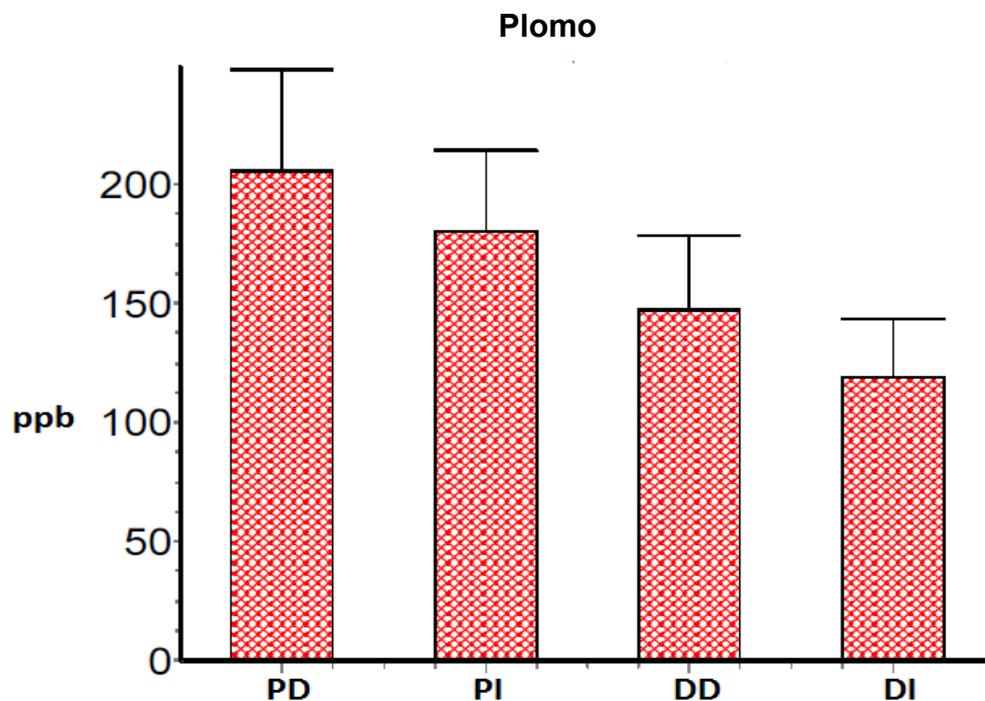
**Cuadro 35. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de vendedores de pintura**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

### Antimonio

No se detectó antimonio en las diferentes zonas de muestreo de las manos de las personas dedicadas al oficio de vendedor de pintura.

## 8. Personas dedicadas al oficio de pirotécnica (pirotécnicos)

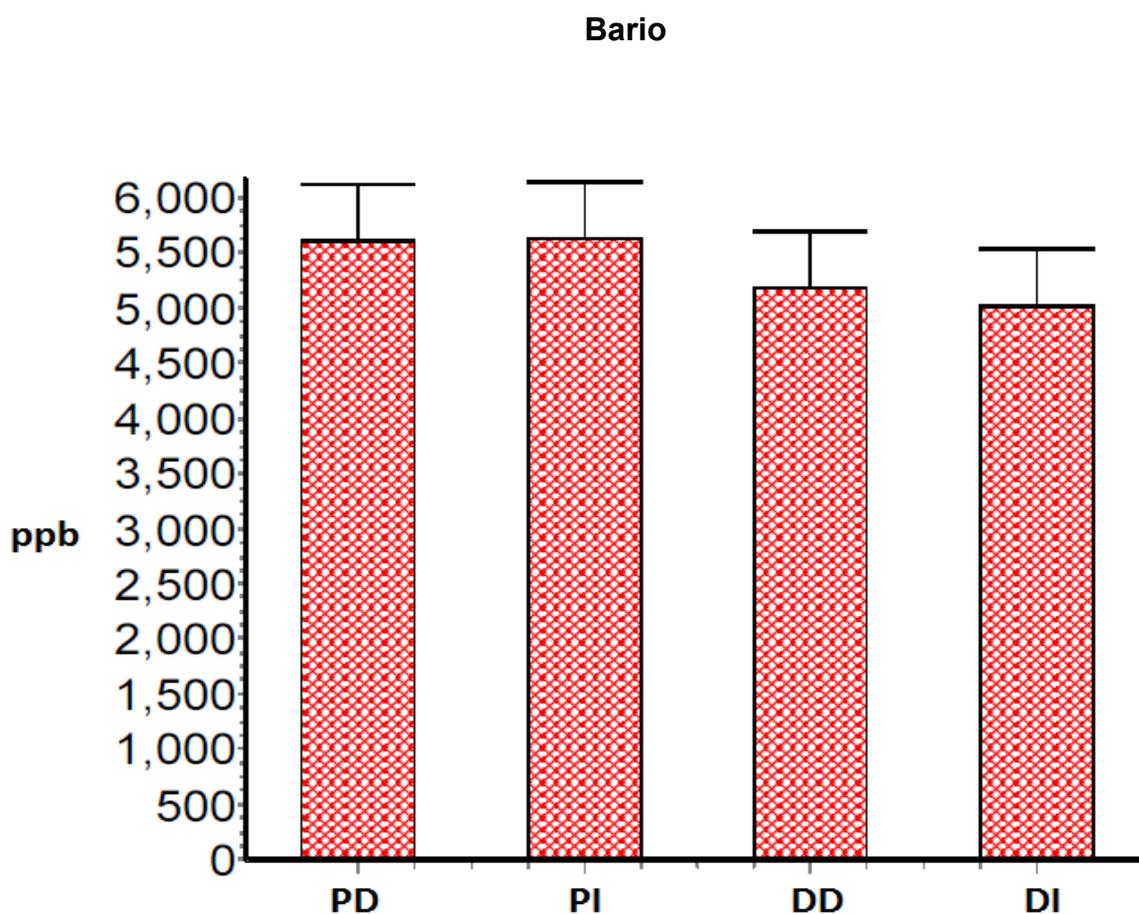


**Figura 31. Concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

	PD	PI	DD	DI
<b>Promedio</b>	205.4	180.0	147.7	118.8
<b>D. E.</b>	191.7	152.4	139.2	108.6
<b>n</b>	20	20	20	20
<b>e. e. m.</b>	42.9	34.1	31.1	24.3
<b>Máximo</b>	763.3	429.0	539.3	384.9
<b>Mínimo</b>	14.5	12.8	11.5	8.5

**Cuadro 36. Análisis de los datos de concentración de plomo en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

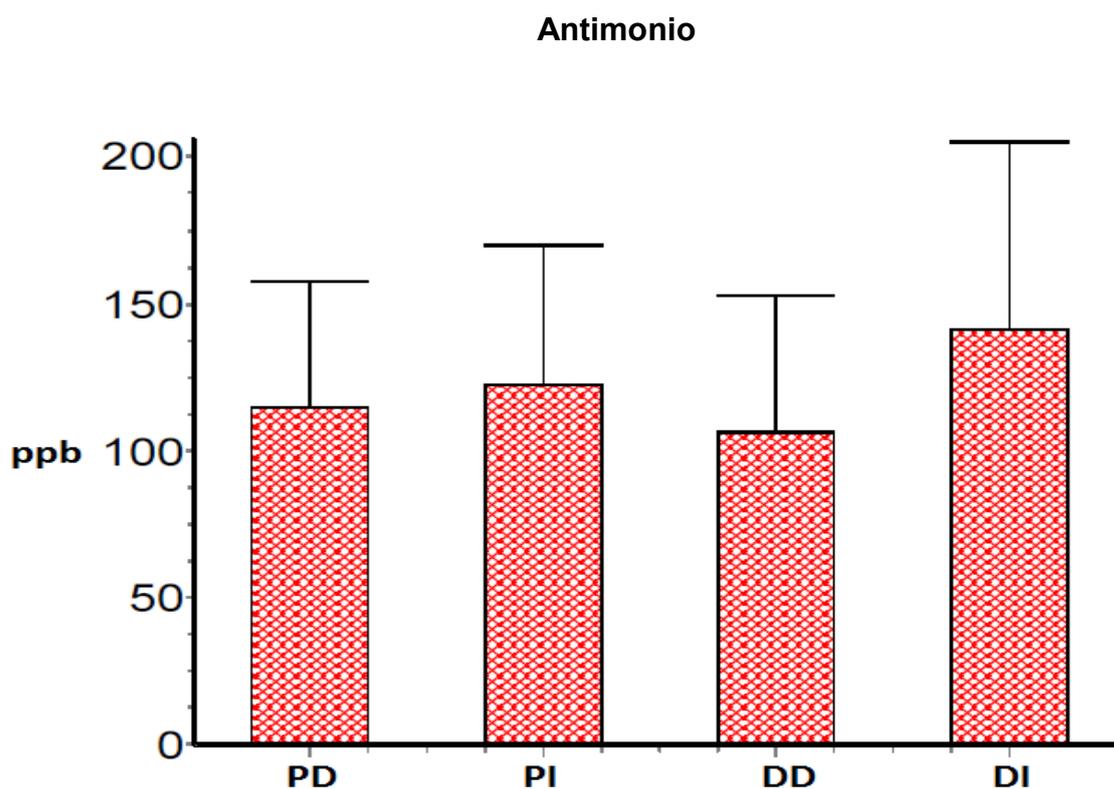


**Figura 32. Concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

	PD	PI	DD	DI
Promedio	5602.4	5636.0	5189.2	5027.9
D. E.	2341.5	2261.0	2279.8	2279.9
n	20	20	20	20
e. e. m.	523.6	505.6	509.8	509.8
Máximo	9990.0	9394.0	9830.0	9115.0
Mínimo	1873.0	1595.0	1596.6	1538.0

**Cuadro 37. Análisis de los datos de concentración de bario en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).



**Figura 33. Concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

	<b>PD</b>	<b>PI</b>	<b>DD</b>	<b>DI</b>
Promedio	114.4	122.4	105.8	141.4
D. E.	191.3	213.1	208.5	284.1
n	20	20	20	20
e. e. m.	42.8	47.7	46.6	63.5
Máximo	747.6	827.3	865.2	959.4
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0

**Cuadro 38. Análisis de los datos de concentración de antimonio en manos de personas dedicadas al oficio de pirotecnia.**

Los resultados no mostraron diferencia significativa entre las diferentes zonas de muestreo ( $p > 0.05$ ).

## VIII. DISCUSIÓN

Se observa que el promedio de la concentración de plomo encontrada en manos de personas que por sus actividades no están en constante contacto con él, es más alta respecto al promedio de las concentraciones halladas en manos de personas dedicadas al oficio de albañilería y más baja que el resto de los oficios; al comparar los valores obtenidos en cada oficio con los valores hallados por Romero Ayón y García López (4) se observa que en personas que realizaron disparo de arma de fuego son más altas las concentraciones que las halladas en todos los oficios excepto el de mecánica, las concentraciones reportadas en manos de personas que no dispararon también son más altas que las de todos los oficios de esta investigación excepto los mecánicos. Esto debido a que en la investigación de Romero Ayón y García López (4) no hubo un control de las ocupaciones de la población estudiada y se desconocen las condiciones del lavado de manos al que se sometió la población estudiada considerando que un lavado empleando agua y jabón no garantiza la eliminación de los metales en cuestión.

Las concentraciones halladas en cada región de muestreo son variables y exceptuando a los mecánicos, se observa que algunas concentraciones encontradas en manos de personas que por sus actividades no se encuentran en contacto directo con el metal son más altas que los que por sus actividades si están en contacto directo con él, los valores hallados por Romero Ayón y García López (4) también son variables tanto para personas que dispararon como para personas que no lo hicieron, incluso algunos más altos que todos los oficios considerados en esta (nuestra) investigación lo que sugiere que además de la presencia de plomo en los materiales manipulados constantemente debido al oficio desempeñado también debe considerarse la presencia del metal en el ambiente y en materiales de uso común. En general en ambas investigaciones se observa que las regiones de la mano derecha poseen las concentraciones más altas del metal.

El análisis estadístico demuestra que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de plomo entre las diferentes zonas de muestreo. En los datos obtenidos por Romero Ayón y García López (4) se observa que las personas que efectuaron disparos muestran una concentración promedio de plomo más alta en la mano derecha que en la mano izquierda.

En cuanto al metal Bario se observa que el promedio de la concentración encontrada en manos de personas que por sus actividades no están en constante contacto con él, es más baja respecto al promedio de las concentraciones halladas en manos de personas dedicadas a los oficios estudiados siendo muy altos, con respecto a los demás oficios, los encontrados en el oficio de mecánica y también muy altos pero mucho muy bajos con respecto a los mecánicos, fueron los valores hallados en el oficio de Herrería; al comparar los valores obtenidos en cada oficio con los valores hallados por Romero Ayón y García López (4) se observa que los valores promedio obtenidos tanto de personas que dispararon como de las que no lo hicieron son más bajos que los promedios encontrados en cada oficio estudiado, adicionalmente en los datos encontrados por este autor, se observa que las personas que no dispararon muestran un promedio menor de Bario en ambas manos.

Las concentraciones halladas en cada región de muestreo son variables y por ejemplo en el caso de los vendedores de pintura, se observa que algunas concentraciones encontradas en manos de personas que por sus actividades no se encuentran en contacto directo con el metal son más altas que los que por sus actividades si están en contacto directo con él, los valores hallados por Romero Ayón y García López (42) también son variables tanto para personas que dispararon como para personas que no lo hicieron y se observa que en general los valores son inferiores en comparación con los obtenidos en esta (nuestra) investigación lo que sugiere que además de la presencia de bario en los materiales manipulados constantemente debido al oficio desempeñado también debe considerarse la presencia del metal en el ambiente y en materiales de uso común y que las fuentes contaminantes de Bario pudieron haber aumentado con el paso del tiempo. En general en ambas investigaciones

se observa que las regiones de la mano derecha poseen las concentraciones más altas del metal.

El análisis estadístico demuestra que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de bario entre las diferentes zonas de muestreo de los oficios estudiados, excepto el oficio de electricidad el cual muestra diferencia significativa entre palmas y dorsos de la misma mano. En los datos obtenidos por Romero Ayón y García López (4) se observa que las personas que efectuaron disparos muestran una concentración promedio de bario más alta en la mano derecha que en la mano izquierda.

El caso del antimonio se observa no se observan rastros del metal en manos de las personas dedicadas al oficio de albañilería y en las dedicadas a la mecánica además de las personas que por sus actividades no están en constante contacto con él. En el resto de los oficios se observa la presencia del metal pero con concentraciones bastante variadas, en gran parte de los casos se observa en los datos crudos, el metal no se encuentra o se encuentra en concentraciones muy bajas. Al comparar los valores obtenidos en cada oficio con los valores hallados por Romero Ayón y García López (4) se observa que los valores promedio obtenidos en personas que dispararon son altos en comparación con los valores obtenidos en cada oficio y al igual que en este (nuestro) estudio, las personas que no dispararon no mostraron presencia del metal.

Las concentraciones halladas en cada región de muestreo de los oficios que si presentaron el metal son variables pero la mayoría de los datos tienden al cero o a ser muy bajos los valores hallados por Romero Ayón y García López (4) también son variables pero es claro que quienes si dispararon muestran valores sustancialmente altos con los de personas que no dispararon, y al igual que en los otros dos metales la presencia del metal en personas que no dispararon puede ser debido a que en el estudio de Romero Ayón y García López (4) no hubo control de los oficios ejercidos por la población estudiada; en el caso de nuestro estudio las personas que por sus ocupaciones no se encuentran en contacto directo con el metal no muestran la presencia del

metal, al igual que la mayoría de los oficios, por lo que se puede deducir que el antimonio no se encuentra en el ambiente ni en objetos de uso cotidiano. En general en ambas investigaciones se observa que las regiones de la mano derecha poseen las concentraciones más altas del metal.

El análisis estadístico demuestra que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de antimonio entre las diferentes zonas de muestreo de los oficios estudiados, excepto el oficio de electricidad el cual muestra diferencia significativa entre palmas y dorsos de la misma mano. En los datos obtenidos por Romero Ayón y García López (4) se observa que las personas que efectuaron disparos muestran una concentración promedio de antimonio marcadamente más alta en la mano derecha que en la mano izquierda.

## **IX. CONCLUSIONES**

Al encontrar que no hay diferencia significativa entre las concentraciones de los metales en las diferentes zonas de muestreo se descarta la posibilidad de haber efectuado un disparo de arma de fuego.

La presencia de plomo y bario por la manipulación de materiales de acuerdo al oficio ejercido se suma a la presencia de los metales en el ambiente y la manipulación de objetos de uso cotidiano.

El metal antimonio no se encuentra en el ambiente ni en objetos de uso cotidiano.

La presencia de plomo y bario en manos de personas que presuntamente realizaron disparos de arma de fuego no demuestra que lo hicieran, pero podría funcionar como apoyo sólo si la diferencia entre los promedios de las concentraciones en la mano que efectuó el disparo (derecha generalmente) con respecto a la de apoyo (izquierda generalmente) sea significativa.

La presencia de antimonio puede ser determinante en demostrar que se realizó un disparo de arma de fuego, siempre y cuando se observe una diferencia

significativa entre las concentraciones del metal hallados en la mano que efectuó el disparo y la mano de apoyo.

La determinación de plomo, bario y antimonio por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito debe ser definitivamente empleada como una prueba de apoyo y no como prueba determinante para demostrar que se efectuó un disparo de arma de fuego.

## **X. PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES**

1. Se propone efectuar el estudio completo de validación del método analítico empleado en el presente trabajo.
2. Se propone un mejor control de los individuos considerando el tiempo durante el cual ha estado expuesto el individuo a lo largo de su vida y que manipular objetos de uso común pueden ser la razón de la presencia de los metales en las manos. Considerar la contaminación ambiental.

**XI. ANEXOS**

**Anexo 1**

**Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer**

**Personas que por sus actividades no se encuentran en contacto directo con plomo, bario y antimonio (Normales)**

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	8.190	0.4036	P>0.05	No significativo
PD vs DD	26.950	1.3280	P>0.05	No significativo
PD vs DI	32.690	1.6110	P>0.05	No significativo
PI vs DD	18.760	0.9244	P>0.05	No significativo
PI vs DI	24.500	1.2070	P>0.05	No significativo
DD vs DI	5.740	0.2828	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	213.000	0.6683	P>0.05	No significativo
PD vs DD	203.250	0.6377	P>0.05	No significativo
PD vs DI	524.560	1.6460	P>0.05	No significativo
PI vs DD	-9.755	0.0306	P>0.05	No significativo
PI vs DI	311.560	0.9776	P>0.05	No significativo
DD vs DI	321.310	1.0080	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI				
PD vs DD				
PD vs DI				
PI vs DD				
PI vs DI				
DD vs DI				

NO SE DETECTÓ

## Anexo 2

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Albañilería

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	5.405	2.5020	P>0.05	No significativo
PD vs DD	16.470	7.6250	P<0.001	Significativo
PD vs DI	23.945	11.0860	P<0.001	Significativo
PI vs DD	11.065	5.1230	P<0.01	Significativo
PI vs DI	18.540	8.5840	P<0.001	Significativo
DD vs DI	7.475	3.4610	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	221.250	1.1400	P>0.05	No significativo
PD vs DD	606.790	3.1260	P>0.05	No significativo
PD vs DI	702.300	3.6180	P>0.05	No significativo
PI vs DD	385.540	1.9860	P>0.05	No significativo
PI vs DI	481.050	2.4780	P>0.05	No significativo
DD vs DI	95.510	0.4920	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI				
PD vs DD				
PD vs DI				
PI vs DD				
PI vs DI				
DD vs DI				
NO SE DETECTÓ				

### Anexo 3

#### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

##### Personas dedicadas al oficio de Electricidad

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	-146.640	1.2320	P>0.05	No significativo
PD vs DD	202.760	1.7040	P>0.05	No significativo
PD vs DI	250.560	2.1050	P>0.05	No significativo
PI vs DD	349.400	2.9360	P>0.05	No significativo
PI vs DI	397.200	3.3370	P>0.05	No significativo
DD vs DI	47.805	0.4017	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	314.990	1.1120	P>0.05	No significativo
PD vs DD	1197.900	4.2300	P<0.05	Significativo
PD vs DI	1647.100	5.8160	P<0.001	Significativo
PI vs DD	882.910	3.1180	P>0.05	No significativo
PI vs DI	1332.100	4.7040	P<0.01	Significativo
DD vs DI	449.150	1.5860	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	8.010	2.7520	P>0.05	No significativo
PD vs DD	33.885	11.6410	P<0.001	Significativo
PD vs DI	38.880	13.3570	P<0.001	Significativo
PI vs DD	25.875	8.8890	P<0.001	Significativo
PI vs DI	30.870	10.6050	P<0.001	Significativo
DD vs DI	4.995	1.7160	P>0.05	No significativo

## Anexo 4

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Venta de gasolina

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	63.440	1.2340	P>0.05	No significativo
PD vs DD	185.510	3.6080	P>0.05	No significativo
PD vs DI	222.470	4.3270	P<0.05	Significativo
PI vs DD	122.070	2.3740	P>0.05	No significativo
PI vs DI	159.030	3.0930	P>0.05	No significativo
DD vs DI	36.955	0.7188	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	742.800	1.5780	P>0.05	No significativo
PD vs DD	1036.200	2.2020	P>0.05	No significativo
PD vs DI	1015.500	2.1580	P>0.05	No significativo
PI vs DD	293.400	0.6234	P>0.05	No significativo
PI vs DI	272.700	0.5794	P>0.05	No significativo
DD vs DI	-20.700	0.0440	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	-1306.300	0.5872	P>0.05	No significativo
PD vs DD	-2159.100	0.9706	P>0.05	No significativo
PD vs DI	-2609.100	1.1730	P>0.05	No significativo
PI vs DD	-852.840	0.3834	P>0.05	No significativo
PI vs DI	-1302.800	0.5857	P>0.05	No significativo
DD vs DI	-449.970	0.2023	P>0.05	No significativo

## Anexo 5

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Herrería

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	100.830	2.8900	P>0.05	No significativo
PD vs DD	125.020	3.5840	P>0.05	No significativo
PD vs DI	148.090	4.2450	P<0.05	Significativo
PI vs DD	24.195	0.6936	P>0.05	No significativo
PI vs DI	47.260	1.3550	P>0.05	No significativo
DD vs DI	23.065	0.6612	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	3120.300	0.9365	P>0.05	No significativo
PD vs DD	4270.700	1.2820	P>0.05	No significativo
PD vs DI	4891.700	1.4680	P>0.05	No significativo
PI vs DD	1150.500	0.3453	P>0.05	No significativo
PI vs DI	1771.500	0.5317	P>0.05	No significativo
DD vs DI	621.000	0.1864	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	3.605	1.1600	P>0.05	No significativo
PD vs DD	7.490	2.4100	P>0.05	No significativo
PD vs DI	10.945	3.5210	P>0.05	No significativo
PI vs DD	3.885	1.2500	P>0.05	No significativo
PI vs DI	7.340	2.3620	P>0.05	No significativo
DD vs DI	3.455	1.1120	P>0.05	No significativo

## Anexo 6

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Mecánica

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	134.870	0.4624	P>0.05	No significativo
PD vs DD	245.300	0.8410	P>0.05	No significativo
PD vs DI	558.670	1.9150	P>0.05	No significativo
PI vs DD	110.430	0.3786	P>0.05	No significativo
PI vs DI	423.810	1.4530	P>0.05	No significativo
DD vs DI	313.380	1.0740	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	10276.000	0.5534	P>0.05	No significativo
PD vs DD	28251.000	1.5210	P>0.05	No significativo
PD vs DI	41111.000	2.2140	P>0.05	No significativo
PI vs DD	17975.000	0.9680	P>0.05	No significativo
PI vs DI	30834.000	1.6610	P>0.05	No significativo
DD vs DI	12859.000	0.6925	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI				
PD vs DD				
PD vs DI				
PI vs DD				
PI vs DI				
DD vs DI				

NO SE DETECTÓ

## Anexo 7

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Vena de pintura

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	65.345	2.1740	P>0.05	No significativo
PD vs DD	132.210	4.3990	P<0.05	Significativo
PD vs DI	220.520	7.3380	P<0.001	Significativo
PI vs DD	66.860	2.2250	P>0.05	No significativo
PI vs DI	155.180	5.1640	P<0.01	Significativo
DD vs DI	88.315	2.9390	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	88.350	0.2787	P>0.05	No significativo
PD vs DD	622.100	1.9630	P>0.05	No significativo
PD vs DI	605.840	1.9110	P>0.05	No significativo
PI vs DD	533.750	1.6840	P>0.05	No significativo
PI vs DI	517.490	1.6330	P>0.05	No significativo
DD vs DI	-16.260	0.0513	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI				
PD vs DD				
PD vs DI				
PI vs DD				
PI vs DI				
DD vs DI				

NO SE DETECTÓ

## Anexo 8

### Prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer

#### Personas dedicadas al oficio de Pirotécnia

<b>PLOMO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	25.465	0.7545	P>0.05	No significativo
PD vs DD	57.715	1.7100	P>0.05	No significativo
PD vs DI	86.570	2.5650	P>0.05	No significativo
PI vs DD	32.250	0.9555	P>0.05	No significativo
PI vs DI	61.105	1.8100	P>0.05	No significativo
DD vs DI	0.855	28.8550	P>0.05	No significativo

<b>BARIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	-33.575	0.0656	P>0.05	No significativo
PD vs DD	413.220	0.8067	P>0.05	No significativo
PD vs DI	574.500	1.1220	P>0.05	No significativo
PI vs DD	446.800	0.8723	P>0.05	No significativo
PI vs DI	608.080	1.1870	P>0.05	No significativo
DD vs DI	161.280	0.3149	P>0.05	No significativo

<b>ANTIMONIO</b>				
<b>Comparación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>q</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Dictamen</b>
PD vs PI	-7.975	0.1571	P>0.05	No significativo
PD vs DD	8.580	0.1690	P>0.05	No significativo
PD vs DI	-27.020	0.5322	P>0.05	No significativo
PI vs DD	16.555	0.3261	P>0.05	No significativo
PI vs DI	-19.045	0.3751	P>0.05	No significativo
DD vs DI	-35.600	0.7012	P>0.05	No significativo

## ANEXO 9

### GLOSARIO

**Acción:** Es el cajón de mecanismos de un rifle o escopeta que contiene la recámara, los mecanismos de cierre y los mecanismos de recarga. // Mecanismo de las armas de fuego que se localiza directamente atrás del cañón, y por el cual un arma se carga, cierra, dispara, abre, extrae y expulsa los cartuchos.

**Ametralladora:** Arma de fuego que dispara en forma continua balas con una alta cadencia de fuego cuando se oprime una vez el gatillo. Ver automático.

**Ángulo:** El ángulo del cañón de rifle o escopeta con respecto al ángulo de la caja. (Esta medida se toma colocando la culata del arma en el suelo y midiendo la línea perpendicular del suelo a la boca del cañón).

**Ánima:** El túnel dentro del cañón de un arma de fuego a través del cual viaja el proyectil.

**Ánima lisa:** Es un arma de fuego cuyo cañón no es estriado.

**Bala:** Proyectil disparado por armas de fuego. // El proyectil redondo de plomo disparado por las armas de fuego sin rayado. (El término se usa hoy en día cuando se refiere a algunos tipos de balas disparadas por cañones estriados).

**Balística:** Es el estudio de lo que sucede a los proyectiles moviéndose dentro del cañón y en su vuelo -trayectoria, fuerza, impacto y penetración. Balística Interior, se refiere a lo que pasa dentro del cañón antes de que la bala salga de la boca del cañón. Balística externa: es lo que pasa después de que la bala o tiro sale del cañón y viaja hacia el punto final de impacto. Balística terminal: es lo que pasa en la bala en el punto final de impacto.

**Boca:** La parte terminal del cañón.

**Cacha:** Ver pistolete.

**Calibre:** El diámetro del alma de un rifle que se miden en las crestas de las estrías.

**Calibre:** Medida del alma de las escopetas que proviene del número de esferas de plomo que pesan una libra. Por ejemplo: 12 balas o esferas de plomo que pesan una libra, es él calibre 12 de una escopeta

**Camisa:** La cubierta exterior sobre el núcleo interior metálico de una bala.

**Cañón:** El tubo de metal de un arma de fuego hecho de fierro o acero, a través del cual la bala o tiro pasa cuando el arma es disparada.

**Carabina:** Rifle ligero de cañón corto.

**Cargador:** Caja de metal desmontable diseñado para contener un número de cartuchos para cargar el arma de fuego. // Parte de los rifles de repetición que contiene los cartuchos o tiros listos para ser cargados en la recámara (El cargador puede ser integrado como parte del arma o separado agregado a la acción).

**Cargar:** Es una carga de pólvora, proyectil o cartucho. También preparar el arma para disparar insertando las municiones.

**Cartucho metálico:** Cartucho con casquillo metálico. (Los primeros cartuchos eran hechos de lino, papel etc.).

**Cartucho:** Casquillo, generalmente hecho de latón o cobre que contiene la carga de pólvora, el fulminante y la bala. (Antes de que hubiera cartuchos metálicos, el término se usaba para nombrar a los rollos o paquetes de papel que contenían pólvora y municiones. Los cartuchos modernos generalmente se clasifican en tres categorías: metálicos de fuego central, de fuego anular y cartuchos para escopeta. Los metálicos de fuego central incluyen a todos los cartuchos de metal que tienen el fulminante en el centro de la base. Los de fuego anular incluyen a todos los cartuchos en el cual el fulminante está encerrado dentro de un anillo suave alrededor de la base. Los cartuchos de

escopeta incluyen a todos los que contienen postas o perdigones pequeños en lugar de una bala).

**Copa del fulminante (Pistón):** Es el hueco en la base del cartucho de escopeta donde se aloja el fulminante.

**Deflagración:** Combustión que se produce con gran rapidez, acompañada de llama y sin explosión.

**Culata:** La parte trasera de la caja de un rifle o escopeta. (La parte que descansa contra el hombro).

**Empuñadura:** Es la parte delantera de la caja de Madera. (Localizada abajo del cañón, la empuñadura sirve para colocar la mano).

**Escopeta:** Arma de fuego de alma lisa diseñada para disparar pequeños perdigones llamados tiros o balas rayadas.

**Estrías:** Ver estriado o rayado.

**Fulminante (Pistón):** Término común dado a los componentes del fulminante, copa y yunque los cuales al ser golpeados incendian la carga de pólvora. // Pequeña copa de metal rellena con material explosivo que se coloca sobre la chimenea en las armas de percusión (El fulminante es golpeado por el martillo, explotando y enviando por el oído o túnel de la chimenea un flamazo hasta la carga principal de pólvora).

**Fulminato de mercurio:** Un explosivo altamente sensible que se usa como componente de los fulminantes.

**Gatillo:** Parte del mecanismo de un arma de fuego que suelta la aguja o percutor.

**Martillo:** Parte de la acción que impulsa la aguja o percutor.

**Mira:** Artefacto de las armas de fuego que se utiliza para apuntar ayudando al tirador a dar en el blanco.

**Núcleo:** La parte de la bala que está cubierta por una camisa.

**Percutor:** La parte del mecanismo de la recámara que golpea al fulminante del cartucho. (En la mayoría de las armas de fuego, el percutor es parte del montaje del cerrojo).

**Pistolete:** Parte pequeña de la caja en donde se coloca la mano que dispara el gatillo.

**Pólvora negra:** Polvo fino mezcla de tres ingredientes básicos: salitre (nitrato de potasio), carbón vegetal y azufre.

**Pólvora sin humo:** Ver pólvora.

**Pólvora:** Término genérico para cualquier propelente usado en las armas de fuego el cual es quemado después de la ignición. (Los dos principales tipos de pólvora son. La pólvora negra la cual es una mezcla física de carbón, azufre y salitre y la pólvora sin humo que es un compuesto químico y puede ser de una base o de dos bases, utilizando nitrocelulosa o nitroglicerina o ambas).

**Propelente:** Sustancia química que imparte movimiento al proyectil en una arma de fuego.

**Proyectil:** Bala o tiro en vuelo después de haber sido disparado por un arma de fuego.

**Rayado:** Ranuras en espiral que se cortan en la superficie interna del canon y causan que la bala gire para darle más estabilidad. La parte de arriba del rayado se llama cresta y la parte baja se llama surco.

**Recámara:** Parte engrosada del cañón en el cual se aloja el cartucho para dispararse. // La parte de atrás del cañón (en las armas modernas, la parte del cañón dentro del cual se inserta el cartucho).

**Retardante:** Material que se agrega a un explosivo para hacer más lenta su combustión. (Grafito, vaselina etc.).

**Rifle:** Arma de hombro con cañón estriado diseñado para disparar cada vez que se prepare un proyectil. Ver Rayado.

**Seguro:** Artefacto que bloquea los mecanismos de disparo de un arma de fuego.

**Semiautomático:** Es una acción que dispara, extrae, arroja , recarga y acerroja con sólo oprimir una vez el gatillo, es operado por los gases de la combustión. (Llamado también de auto carga).

**Trayectoria:** El patrón de vuelo de una bala desde la boca del cañón hasta el impacto.

**Yunque:** Superficie sólida del cartucho, donde se aloja el fulminante contra el cual golpea el percutor para encender la mezcla iniciadora.

## ANEXO 10

### SIMBOLOGÍA

Nanogramos	Ng
Microlitros	$\mu\text{L}$
Microgramos	$\mu\text{g}$
Partes por millón	Ppm
Partes por billón	Ppb
Unidad de presión Torricelli	Torr
Nanómetros	Nm
Voltios o Volts	V
Miliamperios	mA
Segundos	s
Error estándar de la media	e.e.m

## XII. REFERENCIAS

1. Di Maio V. Gunshot wounds. Practical aspects of firearms, ballistics, and Forensic Techniques, 2ª Edición, CRC Press, New York, 1999.
2. Secretaría de comercio y fomento industrial. NOM-142-SCFI-2000, Niveles de protección de materiales para blindajes resistentes a impactos balísticos-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba. Diario Oficial de la federación, 2001.
3. Dalvy O, Butler D, Birkett J. Analysis of gunshot residue and associated materials. Journal of Forensic sciences, 2010. 55(4)
4. Romero A, García E. Cuantificación y determinación de plomo, bario y antimonio por espectroscopía de absorción atómica, como residuos por disparo de arma de fuego. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, 1992.
5. Heramb R, McCord B. The manufacture of smokless powders and heir forensic analysis: A bried Review. Forensic science communications 2002; 4 (2).
6. Saverio F. Margot P. Identification of gunshot residue: a critical review. Journal of Forensic sciences, 2009. 119: 195 – 211
7. Celasun B. Determination of gunshot residues with image analysis: an experimental stud. Military Medicine, 2005. Vol, 170 , 9:802
8. Bird D. Agg K, Barnett N, Smith T. Time-resolved fluorescence microscopy of gunshot residue: an application to forensic science, 2007. Journal of Microscopy 226: 18–25

9. Broz`ek-Mucha Z. Distribution and properties of gunshot residue originating from a luger 9 mm ammunition in the vicinity of the shooting gun. *Journal of Forensic sciences*, 2008. 183: 33–44.
10. Távora I, Geber de Melo A, Oliveira M. Alves S. High Photoluminescent Metal–Organic Frameworks as Optical Markers for the Identification of Gunshot Residues. *Anal. Chem.*, 2011, 83 (12), pp 4720–4723
11. Zeichner A. Recent developments in methods of chemical analysis in investigations of firearm-related events. *Anal Bioanal Chem*, 2003. 376 : 1178–1191
12. Bueno J, Sikirzhytski V, Lednev I. Raman Spectroscopic Analysis of Gunshot Residue Offering Great Potential for Caliber Differentiation. *Anal. Chem.* 2012, 84, 4334–4339
13. Kazimirov V, Zorin A, Zanozin V. Application of x- ray fluorescence analysis to investigation of the composition of gunshot residues. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2006. Vol. 73, No. 3
14. Mamedov S, Horiba J, Goldey J, Whitley A, Vezard N. Forensics applications of x-ray fluorescence spectroscopy in combination with advanced ligiit source sample discovery” *The Application Notebook*, 2007. 19
15. Tocaia E. Identificação de resíduos de disparos de armas de fogo por meio da técnica de espectrometria de massas de alta resolução com fonte de plasma indutivo." *Quim. Nova*, 2004. 27: 409-413
16. Uner H, Ozaslan A Gunshot residues of blank firing pistols. *Trace Elements and Electrolytes*, 2005. 22: 268-271

17. Grima M, Butler M. Hason R. Mohamed. Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue. *Science and Justice* , 2012. 52, 49–57
18. Silva M, Cortez J, Pasquini C, Honorato R, Paim A, Pimentel M. Gunshot residues: screening analysis by laser-induced breakdown spectroscopy. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2009. 20 (10)
19. Pérez E, Hernandez P. Metodos para detectar restos de disparos de armas de fuego. *LAB- acta*, 2006. 18 25-28.
20. Rosenberg M, Dockery C. Determining the lifetime of detectable amounts of gunshot residue on the hands of a shooter using laser-induced breakdown spectroscopy. department of chemistry and biochemistry, *Appl spectrosc.* 2008. 62 (11), 1238-1241
21. Yang Y, Pi N, Reeves E, Sheng M, Springer F. Quantitative Analysis of Organic Gunshot Residues by LC/MS/MS. Agilent Technologies, ASMS 2010.
22. Moreno R. *Balística forense*. 15ª. Ed. México: Editorial Purrua; 2011. 17-113
23. Perkin Elmer Inc. *The graphite furnace technique users guide*, 2004.
24. Skoog D, West D, Holler F, Crouch S. *Fundamentos de química analítica*. 8a. ed. Mexico DF: Thomson Editores S.A de C.V; 2005.
25. Department of Health and Human Services. *Toxicological profile for lead*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S: 2007.
26. Mañay N, Cousillas AZ, Alvarez C, Heller T. Lead contamination in uruguay: the "la teja" neighborhood case. *Rev Environ Contam Toxicol*, 2008. 195:93-115.

27. Ubillus J. Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2003.
28. Occupational Safety and Health Administration. Substance data sheet for occupational exposure to lead. U.S: 1991
29. World Health Organization. Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk management. Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva: 2004. 63- 70
30. World Health Organization. Barium, health and safety guide. International Programme on Chemical Safety Geneva: 1991; 46
31. World Health Organization. Barium and barium compounds. Concise International Chemical Assessment Documents. Geneva: 2001; 33
32. Department of Health and Human Services. Toxicological profile for antimony. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Department of Health and Human Services, Public Health Service. U.S.:1995.
33. World Health Organization. Antimony in drinking-water. Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva. 2003; 2-10
34. Marquez A. Determinación de Plomo (Pb), Bario (Ba) y antimonio (Sb) en residuos de disparo de armas de fuego comparando las técnicas analíticas GFAAS e ICP-MS. México. Facultad de Estudios superiores Cuautitlan, 2012. 104-141