



UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
POSGRADO EN SALUD OCUPACIONAL CON ÉNFASIS EN HIGIENE AMBIENTAL

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A PLOMO EN AGENTES POLICIALES QUE SUPERVISAN  
PRUEBAS PRÁCTICAS EN POLÍGONOS DE TIRO EN COSTA RICA

Sustentante:  
ROSIRENE CALVO GARITA

Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica  
2019

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del  
Posgrado Salud Ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental  
para optar al grado de Magíster Scientiae

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A PLOMO EN AGENTES POLICIALES QUE SUPERVISAN  
PRUEBAS PRÁCTICAS EN POLÍGONOS DE TIRO EN COSTA RICA

ROSIRENE CALVO GARITA

Tesis presentada para optar al grado de Magíster Scientiae en Salud Ocupacional con Énfasis en  
Higiene Ambiental cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de  
la Universidad Nacional

Heredia, Costa Rica

## **MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

[PhD. Mayela Coto Chotto/ Dra. Caterina Guzmán Verri/ Dr. Luis A. Miranda Calderón, Dr. Francisco San Lee Campos, Dr. Rafael Arias Ramírez, MSc. Daniel Rueda Araya]

Representante del Consejo Central de Posgrado

---

Dra. Marianela Rojas Garbanzo

Coordinador del posgrado o su representante

---

Dra. Ana María Mora Mora

Tutora de tesis

---

M.Sc. María Gabriela Rodríguez Zamora

Miembro del Comité Asesor

---

Dr. Martin Cohen

Miembro del Comité Asesor

---

Lic. Rosirene Calvo Garita

Sustentante

## RESUMEN

A pesar de que estudios alrededor del mundo han evidenciado que los polígonos de tiro constituyen centros de trabajo con altos niveles de exposición al plomo, pocos estudios en América Latina han examinado la exposición ocupacional y sus efectos en la salud de quienes laboran en estos centros. Los objetivos de este estudio fueron: (i) evaluar la exposición a plomo en agentes de la Fuerza Pública que supervisan prácticas en polígonos de tiro, (ii) identificar los factores socio-demográficos y ocupacionales asociados con esta exposición, y (iii) examinar la asociación entre la exposición ocupacional a plomo y los efectos en la salud percibidos por los trabajadores.

En este estudio, cuyo trabajo de campo se realizó entre febrero y abril del 2018, se incluyó a la totalidad de los agentes policiales de la Fuerza Pública que realizaban labores de supervisión de prácticas de tiro en los polígonos privados en Costa Rica ( $n = 22$ ). Se recolectaron una ( $n = 10$  trabajadores) o dos ( $n = 11$ ) muestras de sangre de los agentes durante el período del estudio (tiempo entre toma de muestras de sangre = 30 días exactos). También se recolectaron una ( $n = 6$ ) o dos ( $n = 7$ ) muestras personales de plomo en aire de los agentes que realizaron supervisiones de prácticas de tiro en 2 polígonos cerrados y 2 abiertos. Estos 4 polígonos fueron seleccionados por conveniencia de un total de 25 polígonos de tiro privados que existen en Costa Rica. Además, se recolectaron 12 muestras de plomo en superficies de estos 4 polígonos y se evaluó el sistema de ventilación en los polígonos de tiro cerrados. Las concentraciones de plomo en aire, sangre y superficies fueron cuantificadas utilizando espectrofotometría de absorción atómica. Las características socio-demográficas y ocupacionales de los trabajadores fueron evaluadas a través de la administración de un cuestionario estructurado y mediante observaciones puntuales en los polígonos de tiro durante la supervisión de las prácticas. La presencia de síntomas de intoxicación por plomo y otras condiciones médicas que se han visto asociadas con la exposición a plomo también fueron evaluadas a través de un cuestionario administrado.

Las concentraciones personales de plomo en aire y sangre presentaron medias geométricas (MG) de  $34.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [desviación estándar geométrica (DEG) = 2.4] y  $1.0 \mu\text{g}/\text{dL}$  (2.6), respectivamente, y no se correlacionaron entre sí. Los principales predictores de las concentraciones de plomo en aire fueron el realizar tiros de práctica al finalizar la supervisión [MG de quienes realizaban tiros de práctica /MG de

quienes no realizaban tiros de práctica (grupo de referencia) = 2.27 (intervalo de confianza (IC) 95% = 1.34, 3.81)] y la velocidad del viento dentro del polígono [cambio en las concentraciones de plomo por cada incremento de 1 m/s en la velocidad del viento = 0.80 (IC 95% = 0.65, 0.99)]. Las concentraciones personales de plomo en aire más altas se asociaron con pérdida de peso en el último año [OR<sub>ajustado</sub> (IC 95%) = 1.75 (1.00, 3.06)], pero no con los otros efectos en la salud.

Un 30% de las muestras de sangre contenían concentraciones de plomo por debajo del límite de detección (0.45 µg/dL) y todas las concentraciones se encontraban por debajo del Índice Biológico de Exposición (BEI = 30 µg/dL). Los principales predictores de las concentraciones de plomo en sangre fueron el laborar en la Escuela Nacional de Policías [MG de quienes laboraban en la Escuela Nacional de Policías/MG de quienes laboraban en la Unidad Operativa de Armas y Explosivos = 3.18 (IC 95%: 1.34, 7.52)], el consumir alimentos en el polígono [MG de quienes consumían alimentos/MG del grupo no lo hacía = 1.91 (IC 95%: 1.01, 3.61)] y la edad del trabajador [cambio en las concentraciones de plomo por cada incremento de cinco años de edad = 1.16 (IC 95%: 1.00, 1.34)]. No se observaron asociaciones entre las concentraciones de plomo en sangre y síntomas de intoxicación por plomo u otras condiciones médicas.

Las concentraciones de plomo en superficies mostraron una MG (DEG) de 1.1 µg/cm<sup>2</sup> (4.7) y un rango de <0.002-5.5 µg/cm<sup>2</sup>. Los polígonos cerrados presentaron concentraciones de plomo en superficies más altas que los polígonos abiertos [MG (DEG) = 1.5 µg/cm<sup>2</sup> (3.8) y 0.8 µg/cm<sup>2</sup> (5.8), respectivamente]. Se determinó que los sistemas de ventilación en polígonos cerrados presentaban condiciones no óptimas para el adecuado control de la exposición al plomo.

Los hallazgos del presente estudio sugieren la necesidad de implementar tanto controles ingenieriles como administrativos en los polígonos de tiro (e.g., cambio de tipo de munición, sistemas de ventilación certificados, uso de equipo de protección personal, rotación del personal) para reducir la exposición al plomo y prevenir efectos a futuro en la salud de los oficiales que supervisan pruebas de tiro en estos sitios.

## ABSTRACT

Although studies around the world have shown that shooting ranges are sources of lead exposure, few studies in Latin America have examined occupational exposure to lead in shooting ranges and their health effects. This study aimed to: (i) evaluate lead exposure in Public Force agents that supervise practices in shooting ranges, (ii) identify socio-demographic and occupational factors associated with lead exposure in these workers, and (iii) examine the association between occupational lead exposure and health effects reported by workers.

In this study, whose fieldwork was conducted between February and April of 2018, all Public Force agents who supervised practices in private shooting ranges in Costa Rica were included (n = 22). One (n = 10 workers) or two (n = 11) blood samples were collected from police officers during the study period (time between blood sample collection = exactly 30 days). One (n = 6) or two (n = 7) personal air samples were also collected from the agents who supervised shooting practices in 2 indoor and 2 open ranges. These four shooting ranges were a convenience sample from the 25 private ranges that currently exist in Costa Rica. In addition, 12 surface dust samples were collected from these 4 shooting ranges and an assessment of the ventilation system was conducted in closed shooting ranges. Air, blood, and surface dust lead concentrations were quantified using atomic absorption spectrophotometry. Data on workers' socio-demographic and occupational characteristics were collected using a structured questionnaire and conducting observations during the shooting practices. Information on symptoms of lead poisoning and other medical conditions that have been associated with lead exposure was gathered using structured questionnaires.

Geometric mean [GM, geometric standard deviation (GSD)] personal air and blood lead concentrations were  $34.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.4) and  $1.0 \mu\text{g}/\text{dL}$  (2.6), respectively. These concentrations were not correlated with each other. Main predictors of air lead concentrations were making practice shots at the end of shooting practice supervision [GM for those who made shots at the end of practice supervision/GM for those who did not make shots (reference group) = 2.27 (95% confidence interval (CI) = 1.34, 3.81)] and wind speed at the range [change in lead concentrations per 1 m/s-increase in wind speed = 0.80 (95% CI =

0.65, 0.99)]. Higher personal air lead concentrations were associated with self-reported weight loss in the last year [OR adjusted (95% CI) = 1.75 (1.00, 3.06)], but not with other health effects reported by the workers.

About 30% of the blood samples had lead concentrations below the limit of detection (LOD = 0.45 µg/dL) and all blood lead concentrations were below the Biological Exposure Index (BEI = 30 µg/dL). Main predictors of blood lead concentrations were working in the National Police School (specific unit within the Public Force) [GM for those who worked in the National Police School/GM for those who worked in the Weapons and Explosives Operative Unit (reference group) = 3.18 (95% CI: 1.34, 7.52)], eating in the shooting range [GM for those who ate at the range/GM for those who did not eat at range = 1.91 (95% CI: 1.01, 3.61)], and age [change in lead concentrations per five-years increase in age = 1.16 (95% CI: 1.00, 1.34)]. Null associations of blood lead concentrations with symptoms of lead poisoning or other medical conditions were observed.

Concentrations of lead in surface dust had a GM (GSD) of 1.1 µg/cm<sup>2</sup> (4.7) and ranged between <0.002-5.5 µg/cm<sup>2</sup>. Closed shooting ranges showed higher surface dust lead concentrations than open ranges [GM (GSD) = 1.5 µg/cm<sup>2</sup> (3.8) and 0.8 µg/cm<sup>2</sup> (5.8), respectively]. Ventilation systems in closed ranges did not have optimal conditions for the adequate control of lead exposure.

Findings from the present study suggest the need to implement both engineering and administrative controls in shooting ranges (e.g., change in type of ammunition, certified ventilation systems) to reduce lead exposure and prevent adverse health effects in officers who supervise shooting tests at these sites.



## **V. Hoja de agradecimiento**

Agradezco a Dios por hacerme entender desde el inicio que el propósito de todo este proceso era que lo conociera a Él y que pudiera experimentar el verdadero amor.

A mis padres, por creer en mí, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Este logro es por y para ustedes.

A mi esposo, por ser mi sostén en los momentos duros y por celebrar conmigo cada logro de este proceso. A mis hermanos, familiares y amigos, gracias por las oraciones y palabras de aliento.

A mi tutora, asesores y demás profesores que me guiaron y apoyaron en este proceso. Ustedes son mi orgullo y motivación a ser una mejor profesional. Gracias por enseñarme a amar el estudio y a disfrutarlo en todo momento. Gracias por la milla extra que dieron, aun estando a kilómetros de distancia.

A Marce, por darme el mejor y más grande regalo de la vida, por cada experiencia que vivimos y por una amistad inquebrantable.

A mis compañeros de trabajo y demás personal del Ministerio de Seguridad Pública, que con su participación hicieron posible que este proyecto se llevara a cabo.

## VI. Índice

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	12
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO .....	14
OBJETIVOS .....	19
MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
Tipo de diseño .....	20
Población .....	20
Selección de polígonos de tiro.....	20
Entrevistas .....	22
Medición de concentraciones de plomo en sangre .....	22
Medición de concentraciones personales de plomo en aire.....	23
Concentraciones de plomo en superficies.....	23
Condiciones ambientales de polígonos de tiro .....	24
Sistema de ventilación.....	24
Análisis estadísticos.....	24
Limitaciones y alcances.....	27
RESULTADOS.....	28
Concentraciones personales de plomo en aire .....	30
Concentraciones de plomo en sangre .....	35
Asociaciones de concentraciones personales de plomo en aire y sangre con efectos en la salud ....	38
Concentraciones de plomo en superficies.....	41
Evaluación del sistema de ventilación.....	41
DISCUSIÓN .....	43
Concentraciones personales de plomo en aire .....	43
Concentraciones de plomo en sangre .....	45
Relación de concentraciones personales de plomo en aire y sangre.....	47
Asociaciones de concentraciones personales de plomo en aire y sangre con efectos en la salud ....	48
Concentraciones de plomo en superficies.....	48
Sistema de ventilación.....	49

CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	58
APÉNDICES.....	64
APÉNDICE 1. Consentimiento informado para participación en el proyecto .....	64
APÉNDICE 2. Cuestionario socio demográfico y de exposición ocupacional al plomo. ....	69
APÉNDICE 3. Procedimiento de evaluación de riesgos en polígonos de tiro. ....	80
ANEXOS .....	81
ANEXO 1. Signos y síntomas de la intoxicación crónica por plomo asociados a exposición ocupacional, por aparatos y sistemas.....	81
ANEXO 2. Acuerdo UNA-CECUNA-ACUE-042-2017. ....	82
ANEXO 3. Concentraciones de plomo en aire reportadas por estudios de exposición al plomo en polígonos de tiro realizados en los Estados Unidos.....	86
ANEXO 4. Recomendaciones de vigilancia médica para trabajadores expuestos al plomo. ....	87

## VII. Lista de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Características sociodemográficas y ocupacionales de agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica (n=22).....	29
<b>Cuadro 2.</b> Distribución de concentraciones de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y plomo en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ), tiempos de exposición y cantidad de tiros por día, en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.....	30
<b>Cuadro 3.</b> Coeficientes de correlación de Spearman entre concentraciones personales de plomo en aire y características socio-demográficas y ocupacionales.....	31
<b>Cuadro 4.</b> Distribución de concentraciones promediadas de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) según características socio-demográficas y ocupacionales de agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.....	32
<b>Cuadro 5.</b> Distribución de concentraciones individuales de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) según variables ambientales (medidas al momento de la toma de las muestras) en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.....	33
<b>Cuadro 6.</b> Modelos multivariados de efectos mixtos para las variables predictoras de las concentraciones de plomo en aire en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica ( $n=13, k=20$ ).....	34
<b>Cuadro 7.</b> Distribución de concentraciones promediadas de plomo en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) según variables socio-demográficas y ocupacionales en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.....	36
<b>Cuadro 8.</b> Modelos multivariados de efectos mixtos para las variables predictoras de las concentraciones de plomo en sangre en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica ( $n=21, k=32$ ).....	37
<b>Cuadro 9.</b> Distribución de concentraciones promediadas de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y plomo en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) según síntomas y condiciones de salud reportadas por agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.....	39
<b>Cuadro 10.</b> Razones de probabilidad sin ajustar y ajustadas para efectos en la salud en relación con concentraciones personales de plomo en aire (transformadas a $\log_2$ ) y plomo en sangre (transformadas a $\log_2$ ) en oficiales que realizan supervisión de pruebas de tiro.....	40
<b>Cuadro 11.</b> Distribución de concentraciones de plomo en superficies ( ) en polígonos privados de Costa Rica donde agentes policiales supervisan prácticas de tiro.....	41
<b>Cuadro 12.</b> Velocidad del aire (m/s) en diferentes puntos de las líneas de tiro en dos polígonos cerrados en los que oficiales de la Fuerza Pública realizan supervisión de pruebas.....	42

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Diagrama de muestreo de estudio de exposición ocupacional al plomo en polígonos de tiro en Costa Rica, 2018. ....	21
<b>Figura 2.</b> Cambios e intervalos de confianza del 95% en las concentraciones de plomo en aire según variables predictoras (n=13, k=20). ....	34
<b>Figura 3.</b> Cambios e intervalos de confianza del 95% de las variables predictoras de concentraciones de plomo en sangre (n=21, k=32). ....	38

## **VIII. Lista de abreviaturas**

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

BEI: Índice Biológico de Exposición

CDC: Centro de Control de Enfermedades y Prevención de los Estados Unidos

COSHH: Regulaciones para el Control de Sustancias Peligrosas para la Salud

DEG: Desviación Estándar Geométrica

ENP: Escuela Nacional de Policías

FP: Fuerza Pública

HSE: Ejecutivo de Seguridad y Salud

IC: Intervalo de Confianza

ICC: Coeficiente de Correlación Intraclase

INTECO: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica

MG: Media Geométrica

MSP: Ministerio de Seguridad Pública

NECH: Centro de Salud Ambiental de la Marina

NIOSH: Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional

OMS: Organización Mundial de la Salud

OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

PEL: Valor Límite de Exposición Permitido

REL: Valor Límite de Exposición Recomendado

TLV-TWA: Valor Límite Umbral - Promedio Ponderado en el Tiempo

UOAE: Unidad Operativa de Armas y Explosivos

## **XI. Descriptores**

Plomo, exposición ocupacional, agentes policiales, polígonos de tiro, Costa Rica.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

En Costa Rica se realizan cerca de 15,000 pruebas prácticas anuales para obtener el permiso de portación de armas (Solano & Arias, 2013). La Dirección General de Armamento del Ministerio de Seguridad Pública (MSP) constituye el ente rector y supervisor de los servicios de seguridad privada y de armas de fuego y municiones. Por su parte, la Unidad Operativa de Armas y Explosivos (UOAE) de la Fuerza Pública, adscrita al MSP, es la unidad encargada de aplicar pruebas teóricas y prácticas para la obtención del permiso de portación de armas y verificar el cumplimiento de las condiciones mínimas de seguridad en los polígonos de tiro privados. La Unidad de Seguridad Privada de la Escuela Nacional de Policías (ENP) también apoya en dichas tareas.

La supervisión de pruebas prácticas en polígonos de tiro expone a los instructores a múltiples agentes químicos que se generan como residuos de los procesos de combustión durante la detonación de las armas, entre ellos el plomo (Rocha, Sarkis, Carvalho, Santos, & Canesso, 2014). La exposición al plomo en estos trabajadores puede ocurrir a través de la ingesta y/o inhalación de polvo o partículas suspendidas en el aire que son liberadas durante la detonación (Betancourt, 2012). La exposición a este metal, inclusive a niveles bajos, puede ocasionar efectos adversos en su salud tales como hipertensión arterial, disminución de la función renal, efectos reproductivos y alteraciones neurológicas (Poma, 2013). Asimismo, la exposición crónica a plomo se ha visto asociada con anemia, pérdida auditiva (Ferrer, 2003) y alteraciones del sistema gastrointestinal, entre otras afecciones (ver Anexo 1) (Ramos et al., 2009).

La exposición ocupacional a plomo en trabajadores de polígonos de tiro ha sido ampliamente estudiada en Norteamérica, Europa y Asia (Laidlaw, Filippelli, Mielke, Gulson, & Ball, 2017). Sin embargo, hasta la fecha, pocos estudios han evaluado la exposición al plomo en trabajadores de polígonos de tiro en países de Latinoamérica. Rocha et al. (2014) realizaron un estudio con oficiales de policía de Sao Pablo, Brasil y encontraron que, luego de completar un entrenamiento de tres días que requirió el uso de diferentes tipos de arma, las concentraciones de plomo en sangre de los oficiales habían aumentado de manera importante. Un estudio reciente de agentes de seguridad pública en México encontró que realizar más de 12 prácticas de tiro al año se asociaba con concentraciones más altas de plomo en sangre



(Aguilar et al., 2016). Según nuestro conocimiento, éste constituye el primer estudio en Costa Rica, y uno de los pocos en América Latina, que ha evaluado la exposición ocupacional a plomo, sus factores predictores y sus efectos en la salud de quienes supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro.

## ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

El plomo es un metal utilizado en procesos como la fabricación de baterías, municiones, combustibles fósiles, láminas de protección para radiación, en rellenos sanitarios y muchas otras aplicaciones (Flora, Gupta, & Tiwari, 2012). Las actividades laborales que destacan por la exposición al plomo incluyen la minería de plomo, construcción, fabricación de explosivos, producción de pinturas y aditivos, soldadura, producción de insecticidas, fabricación de municiones y trabajo en polígonos de tiro (Sánchez, Sanz, Apellaniz, & Pascual, 2000).

La evaluación de la exposición ocupacional a plomo incluye usualmente la medición de las concentraciones del metal en sangre y la estimación de la exposición inhalatoria promedio ponderada en el tiempo (Patrick, 2006; Viegas, Carolino, & Tiago, 2015). Es por esta razón que organismos nacionales e internacionales, tales como el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, por sus siglas en inglés), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) y las Regulaciones para el Control de Sustancias Peligrosas para la Salud (COSHH, por sus siglas en inglés), han establecido valores de referencia tanto en sangre como en aire para la exposición ocupacional a plomo. Por ejemplo, la OSHA ha definido valores límites de exposición permitidos (PEL, por sus siglas en inglés) de plomo en sangre y en aire en el lugar de trabajo de 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$  y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente (OSHA, 2015). Por su parte, NIOSH ha establecido, para jornadas laborales de 8 horas diarias y 40 horas semanales, límites de exposición recomendados (REL, por sus siglas en inglés) al plomo en aire de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un nivel de referencia de plomo en sangre para adultos de 5  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (CDC, 2018a, 2018b). La ACGIH e INTECO han definido, para jornadas laborales de 8 horas diarias, un TLV-TWA para plomo inorgánico en aire de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un BEI para plomo en sangre de 30  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (ACGIH, 2018; INTECO, 2016). Para plomo en superficies, no se han establecido valores límites de referencia.

Múltiples estudios en América, Europa y Asia han evaluado la exposición ocupacional a plomo en polígonos de tiro (Laidlaw et al., 2017). Por ejemplo, un estudio de instructores de tiro de un polígono

cerrado en la estación de Guardacostas de Seattle, Estados Unidos ( $n = 9$ ), encontró concentraciones de plomo en sangre [promedio aritmético  $\pm$  desviación estándar (DE) =  $2.4 \pm 1.4 \mu\text{g/dL}$ ] y en polvo total (rango =  $0.1\text{-}8.5 \mu\text{g/m}^3$ ) inferiores a los límites establecidos por la OSHA (Torres, 2014). Por su parte, un estudio en trabajadores de polígonos de tiro cerrados en Corea ( $n = 120$ ) observó concentraciones de plomo en sangre hasta cuatro veces más altas que las encontradas en Seattle, pero aún por debajo del límite de exposición permitido por OSHA (Park, Lee, Lee, Yoon, & Moon, 2016). Una investigación en instructores de un polígono de la Marina de San Diego, Estados Unidos ( $n = 30$ ), observó que las concentraciones promedio de plomo medidas en muestras de polvo inhalable (promedio aritmético =  $48 \mu\text{g/m}^3$ , rango =  $7.4\text{-}165.8 \mu\text{g/m}^3$ ) se encontraban cerca del límite máximo establecido por la ACGIH ( $50 \mu\text{g/m}^3$ ) (Betancourt, 2012).

Hasta la fecha, solamente dos estudios en América Latina han examinado la exposición a plomo en trabajadores de polígonos de tiro. Un estudio en oficiales de policía de Brasil ( $n = 19$  cadetes y 21 instructores) reportó concentraciones de plomo en sangre más altas en cadetes (promedio aritmético  $\pm$  DE =  $18.2 \pm 1.5 \mu\text{g/dL}$ ) que en instructores ( $5.5 \pm 0.6 \mu\text{g/dL}$ ) (Rocha et al., 2014). Este mismo estudio observó un incremento en las concentraciones de plomo en sangre de todos los oficiales después de un curso de entrenamiento de tres días (incremento promedio de aproximadamente  $15 \mu\text{g/dL}$ ). Aguilar et al. (2016) realizaron un estudio de agentes de seguridad pública en México y encontraron concentraciones de plomo en sangre [promedio aritmético  $\pm$  desviación estándar (DE) =  $7.6 \pm 6.8 \mu\text{g/dL}$ ] por debajo del límite establecido por la ACGIH. En este mismo estudio se identificaron la frecuencia de las prácticas de tiro y el uso de utensilios de cocina de arcilla con contenido de plomo como predictores de las concentraciones de plomo en sangre. Por último, este estudio encontró que el 12% de los participantes ( $n = 34$ ) presentaban 5 o más síntomas relacionados con intoxicación crónica por plomo.

Es importante mencionar que la mayoría de los estudios realizados en polígonos de tiro hasta el momento se han enfocado en la evaluación de las exposiciones ocupacionales al plomo durante jornadas completas de trabajo (i.e., exposiciones continuas de 8 horas o mayores por día) (Laidlaw et al., 2017).

A pesar de que la evaluación de las exposiciones de corto período permite cuantificar los niveles de exposición asociados a tareas específicas (Metayer et al., 2016), pocos estudios han examinado este tipo de exposiciones en polígonos de tiro (Wang, Li, & Bezerra, 2017). Es posible que la falta de estudios de exposiciones de corto período se deba a que no existen valores de referencia para jornadas inferiores a las 8 horas diarias (ACGIH, 2018).

Estudios previos sugieren que la exposición al plomo y su toxicidad dependen de diversos factores tales como la dosis recibida, el sexo y la edad de la persona expuesta (Kosnett et al., 2007); también influyen la frecuencia de exposición y la duración de ésta, el estado general de salud de la persona y los estilos de vida previos a la exposición (Betancourt, 2012; Ibarra, 2013). Las responsabilidades en el trabajo, la carga de trabajo y los hábitos de limpieza se han identificado como tres de los determinantes ocupacionales más importantes de la exposición al plomo (Laidlaw et al., 2017). Asimismo, un estudio en supervisores de prácticas de tiro de la Marina de Estados Unidos (n = 30) mostró que algunos de los factores determinantes de la exposición ocupacional a plomo eran el tipo de polígono, la cantidad de tiros durante cada prueba según el calibre del arma y la posición del trabajador durante la práctica (Betancourt, 2012). Por su parte, un estudio de instructores y tiradores en Estados Unidos (n = 174) observó que la combinación de factores estresores de carga de trabajo y una mala higiene ambiental y personal aumentaban considerablemente los niveles de exposición al plomo (Greenberg, Frimer, Meyer, Derazne, & Chodick, 2016). Este último estudio también encontró que factores medioambientales como la humedad, la temperatura y la velocidad del aire aumentaban los niveles de exposición a este metal al afectar directamente la dispersión del plomo en el aire durante el disparo. Por último, existe evidencia que sugiere que la combinación de un mal sistema de ventilación, deficiencias en los procedimientos de limpieza del polígono, prácticas de lavado de manos deficientes y falta de programas de monitoreo médico pueden contribuir a niveles de exposición al plomo altos en trabajadores de polígonos (CDC, 2001).

Estudios epidemiológicos han mostrado que la exposición ocupacional al plomo puede ocasionar problemas de salud (Fent, Gibbins, & Niemeier, 2013; Laidlaw et al., 2017; Poma, 2013). Algunos de estos efectos en la salud incluyen efectos reproductivos (Popovic et al., 2005; Queiroz & Waissmann,

2006; Sheiner, Sheiner, Hammel, Potashnik, & Carel, 2003), falta de apetito, pérdida de peso, anemia, fatiga, dolores de cabeza, dolor de estómago, problemas renales (Rastogi, 2008), hipertensión arterial (Han et al., 2018), disminución del coeficiente intelectual y trastornos de conducta (Mason, Harp, & Han, 2014) (ver Anexo 1). Hasta la fecha, pocos estudios han evaluado los efectos en la salud de los trabajadores expuestos a plomo en polígonos de tiro (Fischbein et al., 1979; Page, Beaucham, & Methner, 2014; Vivante, Hirshoren, Shochat, & Merkel, 2008). Un estudio de miembros de las fuerzas armadas de Estados Unidos (n = 80) encontró una asociación positiva entre las concentraciones de plomo en sangre y alteraciones del sistema nervioso y digestivo (Fischbein et al., 1979). Por su parte, un estudio de soldados de la Fuerza de Defensa de Israel (n = 30) observó una asociación entre las concentraciones de plomo en sangre producto de la exposición ocupacional en polígonos de tiro y la presencia de anemia asintomática (Vivante et al., 2008). Un estudio de trabajadores de un polígono de tiro cerrado en California, Estados Unidos (n = 6), encontró que, a pesar de que los niveles personales de plomo en aire de todos los participantes se encontraban por debajo de los límites establecidos por la ACGIH (rango observado = 5.5-19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), tres de éstos reportaban síntomas de intoxicación por plomo (i.e., letargo, fatiga y dolores musculares y articulares) (Page et al., 2014). Un estudio realizado con instructores de tiro de la estación de Guardacostas de Seattle Estados Unidos, encontró exposiciones relativamente bajas en aire y sangre y determinó que la exposición al plomo no parece ser una amenaza para la salud en este grupo policial, pues no se logró determinar una asociación con los síntomas reportados (Torres, 2014).

Si bien pocos estudios han evaluado los efectos a la salud asociados con la exposición ocupacional al plomo en polígonos de tiro, existe una gran cantidad de investigaciones en torno a la exposición ocupacional al plomo y su repercusión en la salud (Staudinger & Roth, 1998). Entre ellos, un estudio realizado con trabajadores de una industria de metalurgia y minería en Polonia (n = 231) encontró que la exposición ocupacional al plomo se relacionaba con un alto riesgo de enfermedad cardiovascular en trabajadores que desempeñaban funciones en industrias relacionadas al plomo (Prokopowicz et al., 2017). En China, un estudio de trabajadores expuestos a plomo en Jiangsu (n = 21,688) evaluó la asociación entre dicha exposición y la presión arterial; se determinó que los trabajadores de pequeñas

fábricas mostraban las concentraciones de plomo en sangre más altas (promedio aritmético = 20.3  $\mu\text{g/dL}$ , rango = 19.0–21.6  $\mu\text{g/dL}$ ) y que existía una asociación positiva entre las concentraciones de plomo en sangre, la presión sistólica y diastólica y la morbilidad por hipertensión arterial en poblaciones ocupacionales con una alta exposición a plomo (Han et al., 2018). Un estudio que examinó los datos registrados en la Encuesta Hispana sobre salud y nutrición de Estados Unidos ( $n = 3,545$ ), determinó que la exposición a plomo se asociaba con un mayor riesgo de pérdida auditiva (Schwartz & Otto, 1991). Más recientemente, se realizó un estudio con adolescentes de la encuesta antes citada ( $n = 2,535$ , con edades entre 12 y 19 años, encuestados entre el año 2005 y 2008) y se encontró una asociación entre las concentraciones de plomo en sangre (mayores o igual a 2  $\mu\text{g/dL}$ ) y la probabilidad de pérdida auditiva en altas frecuencias (OR = 2.22; IC 95% = 1.39-3.56) (Shargorodsky, Curhan, Henderson, Eavey, & Curhan, 2011).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar la exposición a plomo, sus posibles factores determinantes y sus efectos en la salud de agentes de la Fuerza Pública que supervisan prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica.

### **Objetivos específicos**

1. Cuantificar la exposición a plomo en este grupo de trabajadores mediante la medición de concentraciones de plomo en aire, en sangre y en superficies.
2. Identificar factores socio-demográficos y ocupacionales que explican la exposición ocupacional a plomo en este grupo de trabajadores durante la supervisión de prácticas en polígonos de tiro.
3. Examinar la asociación entre la exposición ocupacional a plomo y los efectos en la salud reportados por los trabajadores.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Tipo de diseño**

Este es un estudio observacional descriptivo de corte transversal. El estudio contó con un enfoque exploratorio, pues, según nuestro conocimiento, es la primera investigación en Costa Rica orientada a la evaluación de la exposición a plomo en agentes de la Fuerza Pública que supervisan prácticas en polígonos de tiro. Este estudio buscó establecer una línea base sobre las condiciones de los polígonos de tiro (de tipo cerrados y abiertos) en el país y los niveles de exposición a plomo en este grupo ocupacional con el fin de dar pie a investigaciones futuras y servir de fundamento legal para justificar una revisión exhaustiva de la reglamentación vigente.

Las actividades e instrumentos del estudio fueron aprobados por el Comité Ético-Científico de la Universidad Nacional, Costa Rica (ver Anexo 2).

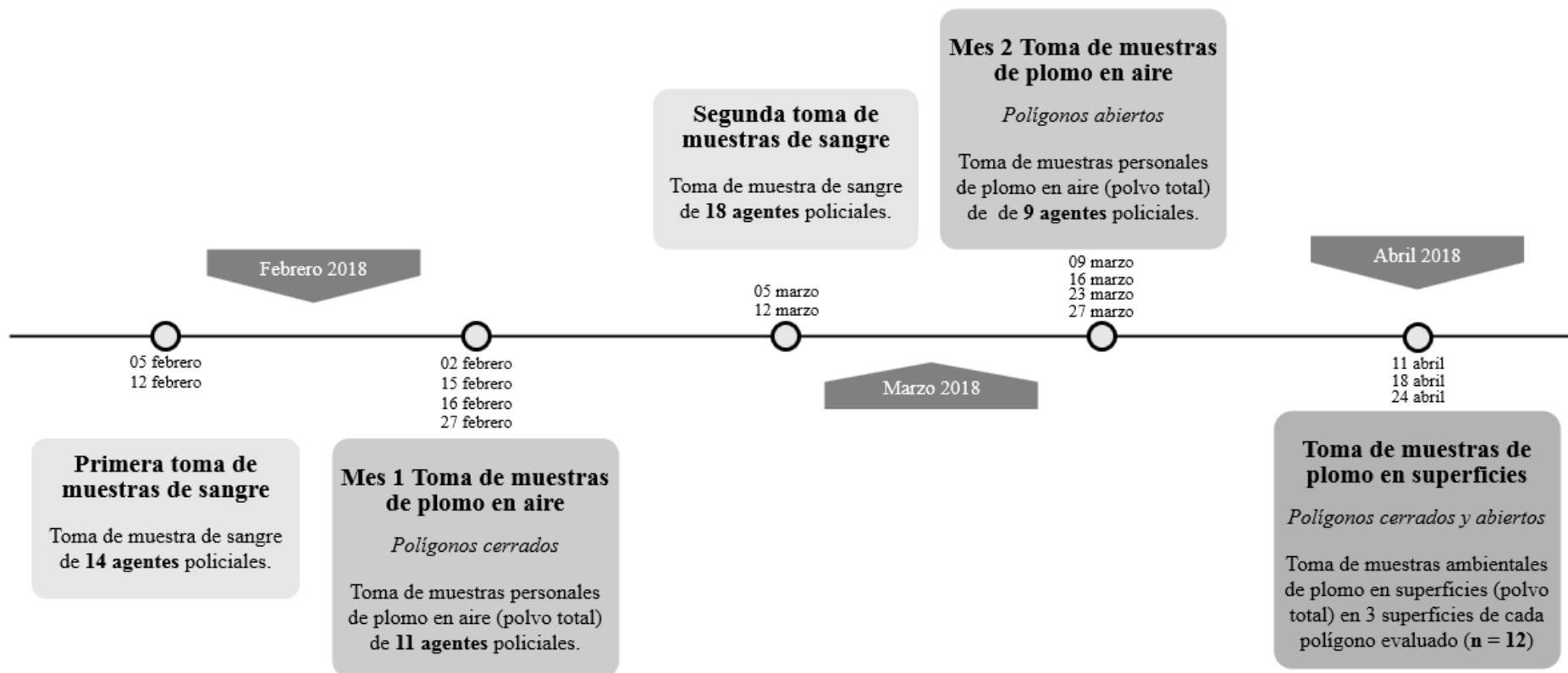
### **Población**

Este estudio incluyó a todos los agentes policiales que, por su puesto, tienen asignada la tarea de supervisión de prácticas en polígonos de tiro privados en Costa Rica. La población de estudio fue de 22 trabajadores e incluyó Agentes I, Agentes II y Agentes Operacionales de la Unidad Operativa de Armas y Explosivos (UOAE) y de la Escuela Nacional de Policías (ENP). El trabajo de campo fue realizado entre febrero y abril del 2018 (Figura 1).

### **Selección de polígonos de tiro**

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia para la selección de 2 polígonos cerrados y 2 polígonos abiertos de los 25 polígonos de tiro privados (20 abiertos y 5 cerrados) que se encuentran registrados ante la UOAE en Costa Rica. Estos 4 polígonos de tiro se seleccionaron de acuerdo a los siguientes aspectos: (i) cantidad de visitas realizadas en los últimos 6 meses y (ii) cantidad de pruebas supervisadas durante las visitas. Más específicamente, se identificaron los polígonos cerrados y abiertos con la mayor y menor cantidad de visitas al mes y con la mayor y menor cantidad de pruebas supervisadas, siendo la cantidad de visitas el factor de mayor peso para la selección de los polígonos (ver Figura 1).





**Figura 1.** Diagrama de muestreo de estudio de exposición ocupacional al plomo en polígonos de tiro en Costa Rica, 2018.

## **Entrevistas**

Para recolectar información sobre los posibles factores determinantes de la exposición a plomo y sus efectos en la salud, se les administró a los agentes policiales un cuestionario estructurado. Este cuestionario tuvo una duración aproximada de 30 min e incluyó preguntas sobre datos socio-demográficos (i.e., edad, sexo), historia médica, estilos de vida (i.e., consumo de cigarrillos) e historia laboral (i.e., puesto actual, antigüedad en el puesto, tareas realizadas en polígonos de tiro, capacitación recibida). El cuestionario también incluyó preguntas sobre síntomas y condiciones de salud que se han visto asociadas con la exposición a plomo en otras poblaciones (Torres, 2014). Para la caracterización de la exposición a plomo en polígonos, también se realizaron observaciones de distintos factores relacionados con el agente contaminante (i.e., tipo de arma, tipo de munición, calibre de la bala), el proceso (e.g., tareas realizadas, tiempo de exposición, cantidad de pruebas aplicadas, posicionamiento del oficial durante las pruebas), ambiente de trabajo (e.g., distribución del espacio, materiales de construcción, sistema de ventilación) y prácticas de trabajo propias de cada agente policial (e.g., revisión de armas, recolección de ojivas, consumo de alimentos, uso de equipo de protección personal, realización de tiros al finalizar la supervisión de las prácticas de tiro, higiene personal).

## **Medición de concentraciones de plomo en sangre**

Se recolectaron una ( $n = 10$ ) o dos ( $n = 11$ ) muestras de sangre venosa de los agentes policiales que realizaron supervisiones de prácticas de tiro entre los meses de febrero y abril del 2018 (tiempo entre toma de muestras de sangre = 30 días exactos). Las concentraciones de plomo en sangre fueron medidas mediante espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno y extracción con metilisobutilcetona y pirrolidinditiocarbamato de amonio (APDC) en el Laboratorio de Nefrología del Hospital San Juan de Dios, San José. La determinación de plomo en esta matriz se realizó por duplicado. El límite de detección (LOD, por sus siglas en inglés) estimado fue de  $0.45 \mu\text{g/dL}$  y 11 (30%) muestras presentaron concentraciones  $<\text{LOD}$ ; a dichos valores se les asignó el valor correspondiente a  $\text{LOD}/\sqrt{2}$  (Baertolucci, Singh & Bae, 2015).

### **Medición de concentraciones personales de plomo en aire**

Se recolectaron una (n = 6 agentes) o dos (n = 7 agentes) muestras personales de polvo total de los agentes que realizaron supervisiones de prácticas de tiro entre los meses de febrero y abril del 2018 en los 2 polígonos cerrados y los 2 abiertos que fueron seleccionados para este estudio. La recolección de las muestras de exposición personal a plomo se realizó de acuerdo al método “*OSHA Method ID-121: Partículas metálicas y metaloides en atmósferas de trabajo (absorción atómica)*” (OSHA, 2002). Se emplearon porta filtros de 2 cuerpos con filtros de ésteres de celulosa y bombas de muestreo personal calibradas a un flujo de 2 L/min. Todos los trabajadores fueron muestreados durante el 100% del tiempo de supervisión de prácticas de tiro (mediana del tiempo de muestreo = 84.6 min, rango = 75-104 min). Las muestras de polvo total fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Higiene Analítica del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago. El LOD estimado fue de 2.0 µg/m<sup>3</sup>; no se obtuvieron concentraciones <LOD.

### **Concentraciones de plomo en superficies**

La recolección del plomo adherido a 3 tipos de superficies distintas en los polígonos de tiro (i.e., mesas de tiro, mesas de espera y paredes) se realizó durante los mismos días en los que se tomaron las muestras personales de polvo total de los agentes policiales. Para la recolección del plomo se demarcaron las áreas a muestrear con plantillas de papel (áreas de 10 cm x 10 cm) y se frotó cada área con una toalla húmeda de la marca SKC (GhostWipes™). Las toallas fueron luego almacenadas en recipientes con tapón de rosca de polipropileno hasta el momento de su análisis. Las concentraciones de plomo en superficies fueron medidas mediante espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Higiene Analítica del ITCR, Cartago. Las muestras fueron digeridas en ácidos minerales previo a su análisis, según lo establecido en el método “*OSHA Method ID-121: Determinación de partículas metálicas en ambientes de trabajo*” (OSHA, 2002).

## **Condiciones ambientales de polígonos de tiro**

Las condiciones ambientales en los 4 polígonos (i.e., temperatura, humedad y presión atmosférica) fueron medidas durante los mismos días en los que se recolectaron las muestras personales de polvo total de los agentes policiales. Las mediciones de condiciones ambientales fueron realizadas con un termo higrómetro.

## **Sistema de ventilación**

En cada uno de los polígonos abiertos seleccionados para el presente estudio se realizó una medición puntual de la velocidad del aire en el lugar de tiro con un termo anemómetro. Por su parte, en los polígonos de tiro cerrados, se realizaron evaluaciones parciales del sistema de ventilación, según lo establecido en la Norma ANSI/ASHRAE 62-2007: *Ventilación para Calidad del Aire Interior* (ANSI/ASHRAE, 2007) y en la *Guía Técnica de Higiene Industrial para polígonos de tiro cerrados del Centro de Salud Ambiental de la Marina de Estados Unidos* (Navy Environmental Health Center, 2002). Se ejecutaron pruebas de humo con una vela encendida para observar los patrones de flujo del aire y presión del recinto. Posteriormente, se realizaron mediciones puntuales de velocidad del aire en cada línea de tiro, a una distancia aproximada de 1 m una de otra; para esto se utilizó un anemómetro de hilo caliente. Antes de realizar las mediciones, se verificó que los sistemas de ventilación tuvieran al menos 30 min de permanecer encendidos.

## **Análisis estadísticos**

### *Concentraciones personales de plomo en aire y sangre*

Se realizaron histogramas de frecuencia y pruebas de bondad de ajuste (e.g., Kolmogorov-Smirnov) para las variables continuas, incluyendo las concentraciones de plomo en aire y en sangre, y dado que éstas presentaban una distribución *lognormal*, se calcularon los parámetros de tendencia central y de dispersión propios de este tipo de distribución. Las concentraciones de plomo en aire y en sangre fueron transformadas a la escala  $\log_2$  para normalizar los residuales de las pruebas de asociación. Se calcularon

coeficientes de correlación de Spearman para evaluar las asociaciones entre las concentraciones de plomo en ambas matrices y los posibles determinantes de exposición. Además, se utilizaron modelos de efectos mixtos para calcular los coeficientes de correlación intraclase (ICC, por sus siglas en inglés) y evaluar la variabilidad y la reproducibilidad de las concentraciones de plomo en las muestras repetidas (Cortes & Rubio, 2010). Las variables no dicotómicas, se utilizó como punto de corte la mediana.

Las asociaciones bivariadas entre los posibles determinantes de la exposición a plomo y las concentraciones personales de plomo en aire y en sangre fueron evaluadas mediante modelos lineales de efectos mixtos, con la variable “trabajador” como *efecto aleatorio*. Posteriormente, se corrieron modelos multivariados de efectos mixtos, considerando como efectos fijos las variables que habían presentado asociaciones estadísticamente significativas ( $p < 0.20$ ) en los análisis bivariados. Se utilizó el método de selección por pasos (*forward y backward stepwise selection*) para obtener los modelos de ajuste reducido y la selección del modelo final se realizó con base en la suma residual de cuadrados. Los coeficientes de regresión ( $\beta$ ) de las variables predictoras en los modelos multivariados de ajuste completo y ajuste reducido fueron exponentiados (factor =  $2^\beta$ ) para facilitar su interpretación. Estos coeficientes exponentiados de las variables categóricas representan la razón de la media geométrica (MG) de las concentraciones de plomo esperadas para cada categoría de la variable predictora y la MG para el grupo de referencia. Los coeficientes exponentiados de las variables continuas representan el cambio en las concentraciones de plomo por cada incremento de una unidad en la variable predictora.

Para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición al plomo en sangre, las MG de las concentraciones de plomo en sangre y sus respectivos IC del 95% fueron comparados con los límites de exposición al plomo en sangre establecidos por INTECO (BEI = 30  $\mu\text{g/dL}$ ) (INTECO, 2016) y ACGIH (REL = 30  $\mu\text{g/dL}$ ) (National Research Council, 2012). Dado que la estrategia de muestreo de las concentraciones personales de plomo en aire se realizó por tareas, es decir, durante la fracción de tiempo de la jornada completa de los agentes policiales que realizaron supervisiones de las pruebas prácticas [promedio del tiempo de exposición de todos los agentes evaluados (desviación estándar) = 84.6 (9.3) min], no fue factible comparar las concentraciones medidas con el TLV-TWA establecido

por INTECO ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pues éste es un valor límite para exposiciones continuas de 8 horas diarias y 40 horas semanales (INTECO, 2016).

#### *Asociaciones de concentraciones personales de plomo en aire y sangre con efectos en la salud*

Se calcularon razones de probabilidad (*odds ratios*, OR) e IC del 95% para examinar las asociaciones entre las concentraciones de plomo en aire y en sangre y cada uno de los síntomas o condiciones médicas, mediante modelos de regresión logística simples. Algunas de las variables reportadas en la literatura como determinantes de los efectos de interés (i.e., edad, sexo, historia de fumado) fueron incluidas *a priori* en los modelos ajustados (Bouchard et al., 2009; Greenberg et al., 2016; Laidlaw et al., 2017). En los modelos de asociación de concentraciones de plomo en sangre y los síntomas de sabor a metal en la boca y problemas digestivos también se ajustó por consumo de alimentos en el polígono y uso de mascarilla. Las variables confusoras fueron seleccionadas usando primero gráficos acíclicos dirigidos y luego modelos de regresión logística simples bivariados. Los valores de OR representan el cambio en la probabilidad de presentar un síntoma o condición médica por cada aumento de dos veces en las concentraciones de plomo en aire o en sangre, ajustando por potenciales confusores.

#### *Concentraciones de plomo en superficies*

Las concentraciones de plomo en superficies fueron agrupadas según superficie muestreada y tipo de polígono. Se estimaron las medidas de tendencia central y de dispersión. Adicionalmente, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman para las concentraciones de plomo en aire de cada trabajador y los promedios de las concentraciones de plomo en superficies obtenidas en las mismas áreas y durante los mismos días en que se efectuaron los muestreos de exposición personal.

#### *Sistema de ventilación*

Se realizaron histogramas de frecuencia y pruebas de bondad de ajuste para la variable velocidad del aire para conocer el tipo de distribución de los datos; los datos presentaron una distribución *lognormal*.

Luego se calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión y se compararon las medianas de la velocidad del aire para los polígonos cerrados y abiertos mediante pruebas de Kruskal-Wallis.

### **Limitaciones y alcances**

El presente estudio buscó generar evidencia sobre las condiciones de exposición al plomo de los agentes policiales de la Fuerza Pública durante la supervisión de pruebas en polígonos de tiro y los principales factores ocupacionales que se asocian con dicha exposición. A su vez, este estudio pretendía identificar la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de la reglamentación vigente relacionada con los polígonos de tiro y dar pie a investigaciones futuras.

Una de las principales limitantes del estudio es el pequeño número de agentes policiales que se dedican a supervisar pruebas de tiro en polígonos en Costa Rica. Por esta razón, en el estudio se incluyeron a todos aquellos agentes que realizaban pruebas de forma activa. Otra de las limitantes del estudio fue la disponibilidad de tiempo de sus participantes pues las funciones propias de su cargo como agentes policiales dificultaron la ejecución de los muestreos y visitas a los polígonos.

## RESULTADOS

El Cuadro 1 muestra la distribución de las características socio-demográficas y ocupacionales de la población de estudio. Los trabajadores presentaron una media geométrica (MG) [(desviación estándar geométrica (DEG)] de edad de 41.3 años (1.3). La mayoría de los agentes policiales eran hombres (91%) y estaban adscritos a la UOAE (77%). Notablemente, los agentes policiales adscritos a la ENP presentaron edades mayores [MG (DE) = 48.4 años (1.2)] y reportaron más visitas a polígonos por mes [12.7 días/mes (2.2)] que los agentes adscritos a la UOAE [39.4 años (1.3) y 6.9 días/mes (2.2), respectivamente]. Todos los participantes del estudio reportaron trabajar para la Fuerza Pública por más de 6 años y utilizar anteojos de seguridad y protectores auditivos (i.e., tapones y/u orejeras) durante la supervisión de prácticas de tiro. Un 64% de los participantes reportó consumir alimentos dentro del polígono de tiro, inclusive durante las prácticas; mientras que un 68% de los trabajadores indicó lavarse las manos luego de la finalización de las prácticas. Por su parte, solamente un 23% de los agentes reportaron ser fumadores activos y un 55% indicaron realizar tiros de práctica al finalizar la supervisión de las pruebas.



**Cuadro 1.** Características sociodemográficas y ocupacionales de agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica (n=22).

<b>Características</b>	<b>n (%)</b>
Edad (años)	
27-40	12 (55)
41-62	10 (45)
Sexo	
Masculino	20 (91)
Femenino	2 (9)
Unidad	
UOAE	17 (77)
ENP	5 (23)
Puesto de trabajo	
Agente I	12 (55)
Agente II	8 (36)
Otro	2 (9)
Tiempo de laborar en Fuerza Pública (años)	
6-17	11 (50)
18-39	11 (50)
Tiempo de laborar en el puesto actual (años)	
1-11	12 (55)
12-27	10 (45)
Visitas a polígono (por persona por mes) <sup>a</sup>	
1-9	13 (59)
10-15	9 (41)
Uso de equipo de protección respiratoria <sup>b</sup>	
No	20 (91)
Sí	2 (9)
Consumo de alimentos en el polígono	
No	8 (36)
Sí	14 (64)
Fumado activo <sup>c</sup>	
No	17 (77)
Sí	5 (23)
Lavado de manos al finalizar la supervisión de pruebas	
No	7 (32)
Sí	15 (68)
Tiros de práctica al finalizar la supervisión de pruebas	
No	10 (45)
Sí	12 (55)

*n*, número de trabajadores.

<sup>a</sup> Valor aproximado de visitas por mes reportado por cada participante en el cuestionario.

<sup>b</sup> Uso de respirador o mascarilla durante la ejecución de las pruebas.

<sup>c</sup> Fumador activo, NO dentro del polígono de tiro.

## Concentraciones personales de plomo en aire

Los trabajadores presentaron una MG (DEG) de concentraciones personales de plomo en aire de 34.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.4) y un rango de 5.0-215.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Cuadro 2). El ICC de las concentraciones transformadas a  $\log_2$  fue de 0.48, lo cual indica una mayor variabilidad entre días de muestreo para un mismo trabajador que entre trabajadores. Durante el muestreo de las concentraciones personales de plomo en aire se realizaron, en promedio (DE), 476.9 (91.7) tiros por día (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Distribución de concentraciones de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y plomo en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ), tiempos de exposición y cantidad de tiros por día, en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.

	Plomo en aire ( <i>n=13, k=20</i> )	Plomo en sangre ( <i>n=21, k=32</i> )
Rango (min-max)	5.0-215.0	<0.4-7.3
MG (DEG)	34.5 (2.4)	1.0 (2.6)
Número (%) de muestras < LOD <sup>a</sup>	0 (0)	10 (31)
Tiempo de exposición (min) <sup>b</sup> [media (DE)]	84.6 (9.3)	--
Tiros por día [media (DE)]	476.9 (91.7)	--
ICC	0.48	0.86
Varianza intra-sujetos	0.13	0.07
Varianza inter-sujetos	0.12	0.46

DE, desviación estándar; MG, media geométrica; DEG, desviación estándar geométrica; ICC, coeficiente de correlación intraclase; *n*, número de trabajadores; *k*, número de muestras; LOD, Límite de Detección.

<sup>a</sup>LOD para plomo en aire = 2.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , LOD para plomo en sangre = 0.4  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

<sup>b</sup>Lapso de permanencia dentro del polígono de tiro.

En los análisis bivariados, se observó que las concentraciones de plomo en aire se asociaban con el tipo de polígono (Cuadro 3). La MG (DEG) de las concentraciones promediadas de plomo en aire fue de 57.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1.9) en agentes que supervisaron pruebas de tiro en polígonos cerrados y de 20.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.5) en agentes que supervisaron pruebas en polígonos abiertos. Asimismo, se encontraron concentraciones de plomo en aire más altas en los agentes policiales que realizaron tiros de práctica al finalizar la supervisión de las pruebas [MG (DEG) = 60.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.0)] en comparación con aquellos agentes que no realizaron tiros [21.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.2); Cuadro 4]. También se observaron asociaciones entre las concentraciones de plomo en aire y algunas variables ambientales, como la temperatura y la velocidad del aire (coeficientes de correlación de Spearman = -0.52 y -0.58, respectivamente;  $p < 0.05$ ; Cuadro 5).

**Cuadro 3.** Coeficientes de correlación de Spearman entre concentraciones personales de plomo en aire y características socio-demográficas y ocupacionales.

	Edad	<i>Sexo</i>	<i>Unidad</i>	Puesto	Antig FP	Antig puesto	Visitas mes	<i>EPP</i>	Comer	<i>Lav manos</i>	<i>Tiros práctica</i>	<i>Mov</i>	Plomo aire	Pos	Grain	Cant prueba	<i>Tipo políg</i>
Edad	1																
<i>Sexo</i>	-0.20	1															
<i>Unidad</i>	0.36	-0.19	1														
Puesto	-0.28*	-0.15	-0.53*	1													
Antigüedad FP	0.90*	-0.30	0.48*	-0.32*	1												
Antigüedad puesto	0.64*	-0.22	0.39*	-0.04	0.72*	1											
Visitas mes	0.06	-0.11	0.23	0.07	0.31	0.17	1										
<i>EPP</i>	-0.38*	-0.05	-0.19	0.35	-0.26	-0.14	-0.11	1									
<i>Comer</i>	0.21	-0.40	0.00	-0.12	0.23	0.51*	-0.13	0.13	1								
<i>Lavado manos</i>	0.06	0.11	0.41	-0.76*	-0.02	-0.35	-0.14	-0.46*	-0.29*	1							
<i>Tiros práctica</i>	-0.38	0.23	0.00	0.00	-0.37	0.02	0.28	-0.23	0.11	0.00	1						
<i>Movimiento</i>	0.44	0.19	0.04	-0.13	0.33	0.16	0.03	-0.28	0.00	0.10	0.00	1					
Plomo en aire	-0.01	0.34	0.16	-0.11	0.12	0.29	0.30	-0.22	0.07	-0.17	<b>0.52*</b>	0.39	1				
Posición													0.32	1			
Grain													<b>0.62*</b>	0.02	1		
Cantidad pruebas													0.12	-0.13	0.06	1	
<i>Tipo polígono</i>													<b>-0.60*</b>	-0.06	-0.28	-0.66*	1

Antig FP, Antigüedad en Fuerza Pública; Antig puesto, Antigüedad en el puesto; EPP, Equipo de protección personal; Lav manos, Lavado de manos; Mov, Movimiento durante la práctica; Pos, Posición durante la práctica; Grain, Peso de la pólvora utilizada en la práctica; Cant prueba, Cantidad de pruebas supervisadas; Tipo políg, Tipo de polígono; Temp, Temperatura; Hum, Humedad; Velo, Velocidad del aire; Pres, Presión atmosférica.

Categorías para variables dicotómicas (resaltadas en negrita y cursiva): Sexo (0 = hombre; 1= mujer) Unidad (0 = UESP; 1= ENP) EPP (0 =No; 1= Si) Lavado de manos (0 =No; 1= Si) Tiros de práctica (0 =No; 1= Si) Movimiento (0 =No; 1= Si) Tipo de polígono (0 =Cerrado; 1= Abierto)

\* $p < 0.05$

**Cuadro 4.** Distribución de concentraciones promediadas de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) según características socio-demográficas y ocupacionales de agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.

<b>Características</b>	<b>n (%)</b>	<b>MG (DEG)</b>	<b>p</b>
Todos los trabajadores	13 (100)	34.5 (2.4)	--
Edad (años)			
27-40	8 (62)	36.4 (2.8)	0.52
41-62	5 (38)	31.8 (1.7)	
Sexo			
Masculino	12 (92)	31.6 (2.3)	--
Femenino	1 (8)	99.0 (--)	
Unidad			
UOAE	9 (69)	30.0 (2.4)	0.41
ENP	4 (31)	47.6 (2.2)	
Puesto de trabajo			
Agente I	8 (62)	42.9 (2.1)	0.52
Agente II	5 (38)	24.4 (2.7)	
Tiempo de laborar en Fuerza Pública (años)			
6-17	7 (54)	29.7 (2.5)	0.94
18-39	6 (46)	41.2 (2.2)	
Antigüedad en el puesto actual (años)			
1-11	6 (46)	26.6 (2.7)	0.37
12-27	7 (54)	43.2 (2.0)	
Visitas a polígono (por persona por mes) <sup>a</sup>			
1-9	8 (62)	31.2 (2.9)	0.52
10-15	5 (38)	40.6 (1.6)	
Uso de mascarilla			
No	12 (92)	35.7 (2.4)	--
Sí	1 (8)	23.0 (--)	
Consumo de alimentos en el polígono			
No	4 (31)	26.3 (3.5)	0.82
Sí	9 (69)	38.9 (2.0)	
Lavado de manos al finalizar la supervisión de pruebas			
No	3 (23)	41.2 (1.8)	0.69
Sí	10 (77)	32.8 (2.6)	
Tiros de práctica al finalizar la supervisión de pruebas			
No	7 (54)	21.0 (2.2)	<b>0.02</b>
Sí	6 (46)	60.8 (2.0)	
Movimiento durante la aplicación de pruebas			
Estático	7 (54)	31.2 (1.5)	0.63
Dinámico	6 (46)	38.9 (3.5)	

DEG, desviación estándar geométrica; MG, media geométrica; *n*, número de trabajadores; *p*, valor de *p* calculado utilizando la prueba no paramétrica de Wilcoxon Mann Whitney.

<sup>a</sup> Valor aproximado de visitas por mes reportado por cada participante en el cuestionario.

**Cuadro 5.** Distribución de concentraciones individuales de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) según variables ambientales (medidas al momento de la toma de las muestras) en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.

<b>Características ambientales</b>	<b><i>n</i></b>	<b><i>k</i></b>	<b>MG (DEG)</b>	<b><i>p</i></b>	<b><i>r<sub>s</sub></i></b>
Temperatura (grados Celsius)					
20-23	8	15	50.6 (1.9)	<0.01	-0.52
24-28	5	5	12.5 (2.1)		
Humedad relativa (%)					
45-61	8	12	47.3 (2.4)	0.05	-0.24
62-72	5	8	23.4 (2.3)		
Velocidad del viento (m/s)					
0.2-1.1	7	10	59.1 (1.9)	0.02	-0.58
1.2-4.4	6	10	21.6 (2.4)		
Presión atmosférica (mb)					
854-883	9	14	45.6 (1.7)	0.04	-0.37
884-1,013	4	6	20.1 (3.8)		

*n*, número de trabajadores; *k*, número de muestras de plomo en aire; MG, media geométrica; DEG, desviación estándar geométrica; *p*, valor de *p* calculado utilizando la prueba no paramétrica de Wilcoxon Mann Whitney; *r<sub>s</sub>*, coeficiente de correlación de Spearman entre características ambientales y las concentraciones de plomo en aire.

Un 30% de los trabajadores evaluados presentaron concentraciones personales de plomo en aire por encima del TLV-TWA establecido por INTECO. No obstante, al no cumplirse las condiciones de tiempo de exposición para las que fue establecido dicho límite, no se puede afirmar que esos trabajadores estuvieran sobreexpuestos a plomo.

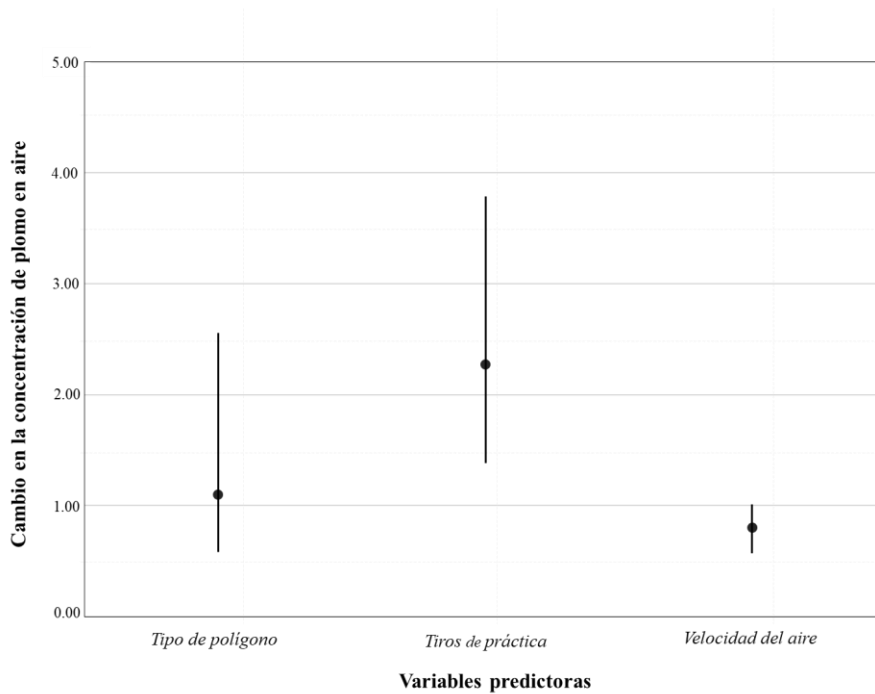
En los análisis multivariados, y específicamente en el modelo de ajuste reducido, se observó que las concentraciones personales de plomo en aire eran más altas en agentes que realizaron tiros de práctica luego de la supervisión de pruebas [factor = 2.27 (IC 95% = 1.34, 3.81); Cuadro 6 y Figura 2]. Además, se observó que las concentraciones de plomo en aire disminuían conforme aumentaba la velocidad del viento en el polígono de tiro [factor = 0.80 (IC 95% = (0.65, 0.99)].

**Cuadro 6.** Modelos multivariados de efectos mixtos para las variables predictoras de las concentraciones de plomo en aire en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica ( $n=13, k=20$ ).

	<b>Ajuste completo</b> <b>Factor (IC 95%)</b>	<b>Ajuste reducido</b> <b>Factor (IC 95%)</b>	
<i>Intercepto</i>	19.16 (0.48, 760.08)	62.25 (15.14, 177.29)	
Tipo de polígono <sup>a</sup>	1.65 (0.68, 4.03)	1.10 (0.57, 2.57)	
Tiros de práctica <sup>a</sup>	2.20 (1.33, 3.63)	2.27 (1.34, 3.81)	
Temperatura	0.83 (0.63, 1.09)	---	
Humedad	1.02 (0.97, 1.06)	---	
Velocidad del viento	0.86 (0.71, 1.06)	0.80 (0.65, 0.99)	
Presión atmosférica	1.06 (0.80, 1.39)	---	
<i>% de varianza total explicada por los efectos fijos</i>	73%	62%	
<i>Efectos aleatorios</i>			
	$\sigma^2_E$ 0.62	$\sigma^2_E$ 0.58	
	$\sigma^2_D$ 0.62	$\sigma^2_D$ 0.58	

$n$ , número de participantes;  $k$ , número de muestras de plomo en sangre; IC, intervalo de confianza; Factor,  $2\Delta\beta$ ;  $\sigma^2_E$ , varianza inter-trabajadores,  $\sigma^2_D$ , varianza intra-trabajadores.

<sup>a</sup>Categorías de referencia: polígono abierto y no realizar tiros de práctica.



**Figura 2.** Cambios e intervalos de confianza del 95% en las concentraciones de plomo en aire según variables predictoras ( $n=13, k=20$ ).

## Concentraciones de plomo en sangre

Los trabajadores presentaron una MG (DEG) de concentraciones de plomo en sangre de 1.0 µg/dL (2.6) y un rango de <0.4-7.3 µg/dL (Cuadro 2). El ICC de las concentraciones de plomo en sangre transformadas a  $\log_2$  fue de 0.86, lo cual indica una mayor variabilidad entre trabajadores que entre días para un mismo trabajador.

En los análisis bivariados, se encontraron concentraciones de plomo en sangre más altas en los agentes policiales de la ENP [MG (DEG) = 3.2 µg/dL (1.7)] que en los agentes de la UOAE [0.7 µg/dL (2.2); Cuadro 7]. También se hallaron concentraciones de plomo en sangre más altas en agentes policiales con más de 12 años de laborar en el mismo puesto [MG (DEG) = 1.4 µg/dL (2.6) vs. quienes tenían un tiempo más corto = 0.7 µg/dL (2.5)] y que reportaron consumir alimentos dentro de los polígonos [1.2 µg/dL (2.8)] vs. quienes dijeron no consumir alimentos = 0.6 µg/dL (2.1)]. Finalmente, se observaron concentraciones de plomo en sangre más altas en agentes con edades más avanzadas (coeficiente de correlación de Spearman = 0.31,  $p = 0.08$ ).

**Cuadro 7.** Distribución de concentraciones promediadas de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ ) según variables socio-demográficas y ocupacionales en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.

<b>Características</b>	<b>n (%)</b>	<b>MG (DEG)</b>	<b>p</b>
Todos los participantes	21 (100)	1.0 (2.6)	--
Edad (años)			
27-40	11 (52)	0.8 (2.4)	0.30
41-62	10 (48)	1.2 (2.7)	
Sexo			
Masculino	19 (90)	1.0 (2.6)	0.33
Femenino	2 (10)	0.5 (2.0)	
Unidad			
UOAE	17 (81)	0.7 (2.2)	<0.01
ENP	4 (19)	3.2 (1.7)	
Puesto de trabajo			
Agente I	11 (52)	1.2 (3.1)	0.39
Agente II	8 (38)	0.7 (2.1)	
Otro	2 (10)	1.0 (1.6)	
Tiempo de laborar en Fuerza Pública (años)			
6-17	11 (52)	0.8 (2.4)	0.30
18-39	10 (48)	1.2 (2.8)	
Antigüedad en el puesto actual (años)			
1-11	12 (57)	0.7 (2.5)	0.13
12-27	9 (43)	1.4 (2.6)	
Visitas a polígono (por persona por mes) <sup>a</sup>			
1-9	8 (38)	0.8 (2.1)	0.22
10-15	13 (62)	1.3 (3.2)	
Uso de mascarilla			
No	19 (90)	0.9 (2.7)	0.67
Sí	2 (10)	1.4 (1.5)	
Consumo de alimentos en el polígono			
No	8 (38)	0.6 (2.1)	0.19
Sí	13 (62)	1.2 (2.8)	
Fumador activo			
No	17 (81)	1.2 (1.4)	0.75
Sí	4 (19)	0.9 (2.9)	
Lavado de manos al finalizar la supervisión de pruebas			
No	7 (33)	0.7 (1.9)	0.21
Sí	14 (67)	1.2 (2.9)	
Tiros de práctica al finalizar la supervisión de pruebas			
No	10 (48)	1.0 (3.0)	0.86
Sí	11 (52)	0.9 (2.4)	

*n*, número de participantes; MG, media geométrica; DEG, desviación estándar geométrica; *p*, valor de *p* calculado utilizando la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para variables con más de dos categorías y la prueba no paramétrica de Wilcoxon Mann Whitney para variables con dos categorías.

<sup>a</sup>Valor aproximado de visitas por mes reportado por cada participante en el cuestionario.



En los análisis multivariados, y específicamente el modelo de ajuste reducido, se observó que los principales factores predictores de las concentraciones de plomo en sangre eran la unidad de trabajo [factor para la ENP = 3.18 (IC 95% = 1.34, 7.52)], el consumo de alimentos en el polígono [factor = 1.91 (IC 95% = 1.01, 3.61)] y la edad [factor por cada aumento de cinco años = 1.16 (IC 95% = 1.00, 1.34)]; Cuadro 8 y Figura 3].

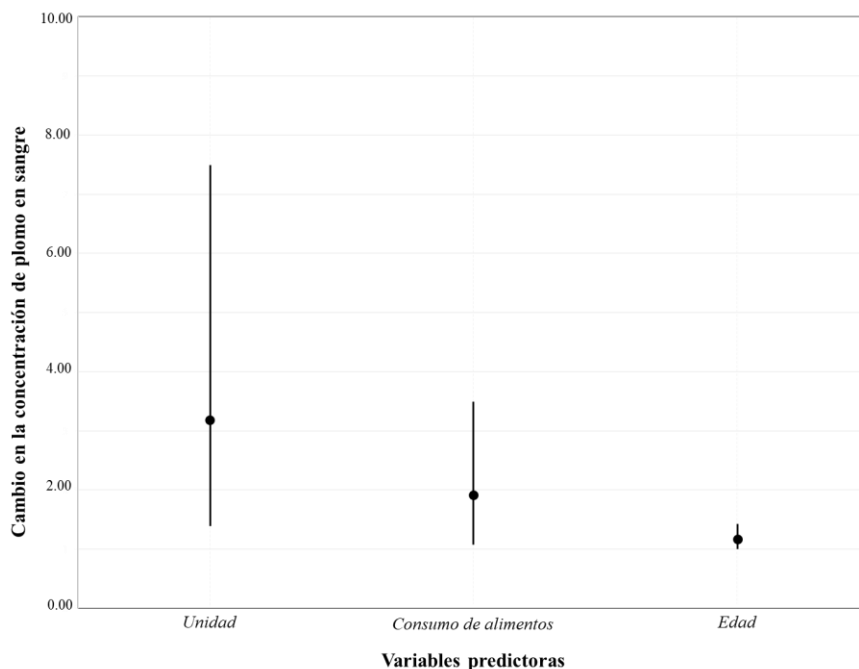
**Cuadro 8.** Modelos multivariados de efectos mixtos para las variables predictoras de las concentraciones de plomo en sangre en agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica ( $n=21$ ,  $k=32$ ).

	<b>Ajuste completo</b>	<b>Ajuste reducido</b>
	<b>Factor (IC 95%)</b>	<b>Factor (IC 95%)</b>
<i>Intercepto</i>	0.12 (0.03, 0.52)	0.17 (0.04, 0.71)
Unidad <sup>a</sup>	3.39 (1.47, 7.78)	3.18 (1.34, 7.52)
Antigüedad en el puesto <sup>a</sup>	0.97 (0.91, 1.02)	---
Consumo de alimentos <sup>a</sup>	2.28 (1.17, 4.47)	1.91 (1.01, 3.61)
Edad <sup>b</sup>	1.04 (1.0, 1.08)	1.16 (1.00, 1.34)
<i>% de varianza total explicada por los efectos fijos</i>	57%	54%
	<i>Efectos aleatorios</i>	
	$\sigma^2_E$ 0.75	$\sigma^2_E$ 0.74
	$\sigma^2_D$ 0.47	$\sigma^2_D$ 0.44

$n$ , número de participantes;  $k$ , número de muestras de plomo en sangre; IC, intervalo de confianza; Factor,  $2^{\wedge}\beta$ ;  $\sigma^2_E$ , varianza inter-trabajadores,  $\sigma^2_D$ , varianza intra-trabajadores.

<sup>a</sup>Categorías de referencia: UOAE, menos de 12 años de antigüedad en el puesto, no consumo de alimentos.

<sup>b</sup>Factor por cada incremento de cinco años de edad.



**Figura 3.** Cambios e intervalos de confianza del 95% de las variables predictoras de concentraciones de plomo en sangre ( $n=21$ ,  $k=32$ ).

### **Asociaciones de concentraciones personales de plomo en aire y sangre con efectos en la salud**

En los análisis bivariados, se encontró que concentraciones personales de plomo en aire más altas se asociaban con pérdida de peso importante (mediana =  $103.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y pérdida auditiva auto-percibida ( $87.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el último año (Cuadro 9). En los análisis multivariados ajustados por edad y sexo, se observó una asociación entre las concentraciones personales de plomo en aire y la pérdida de peso [ $\text{OR}_a$  por cada incremento de dos veces en las concentraciones de plomo = 1.75 (IC 95% = 1.00, 3.06); Cuadro 9].

Por su parte, en los análisis bivariados de las concentraciones de plomo en sangre, se observó que concentraciones más altas se asociaban con hipertensión arterial [mediana (P25-P75) en aquellos con hipertensión = 2.8 (1.4-2.8)  $\mu\text{g}/\text{dL}$  vs. sin hipertensión = 1.1 (0.3-1.5)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ; Cuadro 9]. En contraste, concentraciones de plomo en sangre más bajas se asociaban con pérdida auditiva diagnosticada mediante audiometría [mediana (P25-P75) en aquellos con pérdida auditiva = 0.9 (0.3-0.9)  $\mu\text{g}/\text{dL}$  vs. sin pérdida auditiva = 2.1 (1.3-2.2)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ]. Sin embargo, ninguna de estas asociaciones se mantuvo al ajustar los modelos por edad, sexo y fumado (Cuadro 10).

**Cuadro 9.** Distribución de concentraciones promediadas de plomo en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y plomo en sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) según síntomas y condiciones de salud reportadas por agentes policiales que supervisan prácticas de tiro en polígonos privados de Costa Rica.

	Concentraciones de plomo en aire					Concentraciones de plomo en sangre				
	Sí		No		<i>p</i>	Sí		No		<i>p</i>
	n (%)	Mediana (P25-P75)	n (%)	Mediana (P25-P75)		n (%)	Mediana (P25-P75)	n (%)	Mediana (P25-P75)	
<b>Síntomas</b>										
Pérdida de peso	2 (15)	103.7 (79.6-127.9)	11 (85)	36.9 (22.7-39.5)	0.10	4 (19)	1.3 (0.4-1.4)	17 (81)	1.6 (0.3-2.2)	0.78
Pérdida del apetito	4 (31)	55.0 (24.7-81.7)	9 (69)	43.8 (23.0-40.0)	0.71	5 (24)	2.3 (0.8-1.9)	16 (76)	1.2 (0.3-2.2)	0.56
Cansancio	6 (66)	58.4 (23.6-82.2)	7 (54)	37.6 (24.0-47.7)	0.94	9 (43)	2.0 (0.3-2.2)	12 (57)	1.1 (0.4-1.4)	0.52
Insomnio	4 (31)	59.4 (35.6-81.7)	9 (69)	41.8 (23.0-39.0)	0.33	7 (33)	1.5 (1.0-2.0)	14 (67)	1.5 (0.3-2.0)	0.41
Sabor a metal en la boca	3 (23)	53.2 (30.2-77.2)	10 (77)	45.4 (23.5-39.7)	0.81	7 (33)	1.1 (0.3-1.3)	14 (67)	1.7 (0.5-2.2)	0.29
Mal humor	1 (8)	76.0 (76.0-76.0)	12 (92)	44.8 (22.9-43.9)	--	2 (10)	1.6 (1.5-1.7)	19 (90)	1.5 (0.3-2.2)	0.50
Dolor de cabeza	4 (31)	59.4 (35.6-81.7)	9 (69)	41.8 (23.0-39.0)	0.33	8 (38)	1.4 (0.7-1.9)	13 (62)	1.6 (0.3-2.2)	0.80
Problemas digestivos	4 (31)	46.1 (22.9-54.7)	9 (69)	47.7 (25.0-55.5)	0.99	5 (24)	1.1 (0.8-1.3)	16 (76)	1.6 (0.3-2.3)	0.87
Problemas de concentración	1 (8)	22.5 (22.5-22.5)	12 (92)	49.3 (24.5-60.6)	--	3 (14)	1.5 (1.1-2.0)	18 (86)	1.5 (0.3-2.0)	0.92
<b>Condiciones médicas</b>										
Pérdida auditiva diagnosticada con audiometría	5 (55)	41.5 (23.0-55.5)	4 (45)	41.4 (25.9-49.0)	0.90	7 (44)	0.9 (0.3-0.9)	9 (56)	2.1 (1.3-2.2)	0.04
Pérdida auditiva auto-percibida	2 (15)	87.5 (81.7-93.2)	11 (85)	39.9 (22.7-39.5)	0.10	4 (19)	1.1 (0.7-1.5)	17 (81)	1.6 (0.3-2.2)	0.86
Hipertensión arterial	4 (31)	57.2 (24.7-62.0)	9 (69)	42.8 (23.0-55.5)	0.99	5 (24)	2.8 (1.4-2.8)	16 (76)	1.1 (0.3-1.5)	0.11
Afección renal	3 (23)	25.8 (22.7-27.5)	10 (77)	53.6 (25.5-70.9)	0.29	5 (24)	1.7 (1.0-2.2)	16 (76)	1.4 (0.3-1.5)	0.22
Anemia	1 (8)	99.0 (99.0-99.0)	12 (92)	42.9 (22.9-43.9)	--	1 (5)	0.8 (0.8-0.8)	20 (95)	1.5 (0.3-2.2)	--
Afección cardíaca	1 (8)	22.5 (22.5-22.5)	12 (92)	49.3 (24.5-60.6)	--	1 (5)	2.2 (2.2-2.2)	20 (95)	1.5 (0.3-1.9)	--
Asma	1 (8)	99.0 (99.0-99.0)	12 (92)	42.9 (22.9-43.9)	--	4 (19)	0.6 (0.5-0.8)	17 (81)	1.7 (0.3-2.2)	0.39
Gota	1 (8)	5.0 (5.0-5.0)	12 (92)	50.7 (24.5-60.6)	--	2 (10)	0.9 (0.6-1.1)	19 (90)	1.6 (0.4-2.2)	0.63
Artritis	2 (15)	87.5 (55.2-119.7)	11 (85)	39.9 (23.7-47.7)	0.64	3 (14)	1.1 (0.7-1.4)	18 (86)	1.6 (0.3-2.2)	0.76
Depresión	2 (15)	61.0 (42.0-80.0)	11 (85)	44.7 (23.7-47.7)	0.77	3 (14)	1.2 (0.9-1.4)	18 (86)	1.6 (0.3-2.2)	0.80

*n*, número de participantes; *p*, valor de *p* calculado utilizando la prueba no paramétrica Wilcoxon Mann Whitney.

<sup>a</sup>Prueba audiométrica realizada durante I trimestre 2018. Datos faltantes para 4 trabajadores.

**Cuadro 10.** Razones de probabilidad sin ajustar y ajustadas para efectos en la salud en relación con concentraciones personales de plomo en aire (transformadas a log<sub>2</sub>) y plomo en sangre (transformadas a log<sub>2</sub>) en oficiales que realizan supervisión de pruebas de tiro.

Efectos en la salud	Concentraciones de plomo en aire		Concentraciones de plomo en sangre	
	OR (IC 95%)	ORa (IC 95%) <sup>a</sup>	OR (IC 95%)	ORa (IC 95%) <sup>b</sup>
<i>Síntomas</i>				
Pérdida de peso	2.08 (1.00, 4.30)	1.75 (1.00, 3.06)	0.98 (0.57, 1.69)	0.96 (0.58, 1.59)
Pérdida del apetito	1.16 (0.60, 2.25)	1.21 (0.67, 2.17)	1.23 (0.75, 2.02)	1.18 (0.70, 2.00)
Cansancio	1.04 (0.56, 1.93)	1.06 (0.57, 1.94)	1.14 (0.72, 1.80)	1.20 (0.74, 1.95)
Insomnio	1.15 (0.59, 2.23)	1.14 (0.61, 2.15)	1.20 (0.74, 1.94)	1.19 (0.71, 2.00)
Sabor a metal en la boca <sup>c</sup>	0.96 (0.48, 1.92)	0.91 (0.55, 1.51)	0.74 (0.45, 1.22)	1.01 (0.68, 1.51)
Mal humor	1.01 (0.98, 1.03)	1.01 (0.99, 1.03)	1.21 (0.67, 2.20)	1.14 (0.67, 1.93)
Dolor de cabeza	1.15 (0.59, 2.23)	1.14 (0.61, 2.15)	1.00 (0.63, 1.60)	1.09 (0.67, 1.77)
Problemas digestivos <sup>c</sup>	0.86 (0.44, 1.67)	0.83 (0.44, 1.58)	0.88 (0.53, 1.45)	0.94 (0.60, 1.47)
Problemas de concentración	0.98 (0.95, 1.02)	0.99 (0.95, 1.03)	0.98 (0.56, 1.73)	1.01 (0.59, 1.72)
<i>Condiciones médicas</i>				
Pérdida auditiva diagnosticada con audiometría	0.98 (0.49, 1.96)	0.93 (0.58, 1.50)	0.58 (0.33, 1.03)	0.76 (0.53, 1.09)
Pérdida auditiva auto-percibida	1.73 (0.88, 3.43)	1.50 (0.83, 2.70)	0.85 (0.50, 1.46)	1.02 (0.62, 1.67)
Hipertensión arterial	1.14 (0.60, 2.18)	1.18 (0.62, 2.25)	1.52 (0.90, 2.57)	1.25 (0.78, 1.98)
Afección renal	0.68 (0.35, 1.32)	0.72 (0.38, 1.39)	1.13 (0.68, 1.87)	1.12 (0.67, 1.87)
Asma	1.01 (0.98, 1.03)	1.00 (0.97, 1.04)	0.62 (0.35, 1.09)	0.66 (0.37, 1.15)
Gota	0.98 (0.93, 1.03)	0.98 (0.93, 1.03)	0.94 (0.50, 1.75)	0.93 (0.56, 1.55)
Artritis	1.58 (0.77, 3.27)	0.74 (0.11, 4.81)	0.81 (0.45, 1.46)	0.89 (0.56, 1.42)
Depresión	1.11 (0.55, 2.25)	1.05 (0.64, 1.72)	0.97 (0.55, 1.71)	1.01 (0.78, 1.31)

OR, odds ratio (razón de probabilidad) sin ajustar; ORa, odds ratio ajustado.

<sup>a</sup>Modelos ajustados por edad y sexo.

<sup>b</sup>Modelos ajustados por edad, sexo y fumado.

<sup>c</sup>Modelos ajustados adicionalmente por consumo de alimentos en el polígono y uso de mascarilla.

El valor de OR ajustado representa el cambio en la probabilidad de presentar un efecto adverso por cada aumento de 2 veces en las concentraciones personales de plomo en aire o sangre, ajustando por potenciales confusores.

## Concentraciones de plomo en superficies

Se observó una MG (DEG) para las concentraciones de plomo en superficies de  $1.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (4.7) y un rango de  $<0.002$ - $5.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . La MG (DEG) fue de  $1.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (3.8) para mediciones realizadas en polígonos cerrados y  $0.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (5.8) para polígonos abiertos (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Distribución de concentraciones de plomo en superficies ( ) en polígonos privados de Costa Rica donde agentes policiales supervisan prácticas de tiro.

	Todos los polígonos ( <i>n</i> =12)	Polígonos cerrados ( <i>n</i> =6)	Polígonos abiertos ( <i>n</i> =6)
Rango (min-max)	0.03-5.5	0.1-5.5	0.03-4.8
MG (DEG)	1.1 (4.7)	1.5 (3.8)	0.8 (5.8)
Número (%) de muestras > ALL <sup>a</sup>	10 (83)	5 (83)	5 (83)

ALL, carga de plomo aceptable; DEG, desviación estándar geométrica; MG, media geométrica; *n*, número de muestras. Límite de detección =  $0.002 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

<sup>a</sup>Carga de plomo aceptable establecida por el Centro de Salud Ambiental de la Marina (para superficies dentro del polígono):  $0.215 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Se encontró que las concentraciones de plomo en superficies se asociaban con el tipo y la localización de la superficie muestreada. Más específicamente, se hallaron concentraciones de plomo más altas en las mesas de tiro [MG (DEG) =  $3.7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (1.3), *n* = 4] y en las mesas secundarias o auxiliares [ $0.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (6.0), *n* = 6] que en las paredes [ $0.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (4.9), *n* = 2]. Por otra parte, no se observó una asociación entre las concentraciones de plomo en aire y las concentraciones de plomo en superficies de trabajo que fueron cuantificadas en muestras recolectadas durante los mismos días ( $r_s = 0.12$ ).

## Evaluación del sistema de ventilación

La MG (DEG) de la velocidad del aire en el punto de tiro para todos los polígonos juntos fue de  $0.70 \text{ m/s}$  (3.67), mientras el rango fue de  $0.20$ - $2.20 \text{ m/s}$ . Notablemente, la velocidad del aire fue menor en polígonos cerrados [MG (DEG) =  $0.20 \text{ m/s}$  (1.00)] que en polígonos abiertos [ $1.19 \text{ m/s}$  (2.38)].

La prueba de humo realizada en los dos polígonos de tiro cerrados mostró una presión negativa para las áreas de tiro. El Cuadro 12 muestra la fluctuación de la velocidad del aire a través de la línea de tiro, la cual evidencia patrones de flujo irregulares y posibles remolinos de aire.

**Cuadro 12.** Velocidad del aire (m/s) en diferentes puntos de las líneas de tiro en dos polígonos cerrados en los que oficiales de la Fuerza Pública realizan supervisión de pruebas.

	<b>Polígono A</b>	<b>Polígono B</b>
Número de líneas de tiro	4	3
Rango (min-max)	0.19-0.54	0.15-0.31
MG (DEG)	0.34 (1.60)	0.22 (1.36)
Punto 1	0.54	0.31
Punto 2	0.46	0.29
Punto 3	0.42	0.23
Punto 4	0.22	0.18
Punto 5	0.19	0.15

DEG, desviación estándar geométrica; MG, media geométrica.

\*\*El punto 1 corresponde al punto más cercano al tirador y el punto 5 al punto más lejano del tirador.

Se observó una asociación entre la velocidad del aire y las concentraciones personales de plomo en aire que fueron medidas durante los mismos días. Específicamente para los polígonos de tiro cerrados con sistemas de ventilación, se encontró que las concentraciones de plomo en aire disminuían conforme aumentaba la velocidad del aire [MG (DEG) = 59.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1.9) para velocidades <0.4 m/s vs. MG (DEG) = 21.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.4) para velocidades >0.4 m/s].

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se encontró que las concentraciones personales de plomo en aire de agentes de la Fuerza Pública que supervisaban prácticas de tiro en polígonos privados se asociaban con la realización o no de tiros de práctica luego de la supervisión de pruebas y la velocidad del aire en el polígono. Además, se encontró que los principales factores predictores de las concentraciones de plomo en sangre eran la unidad de trabajo, el consumo de alimentos en el polígono y la edad del agente. Finalmente, se halló que las concentraciones de plomo en superficies se asociaban con el tipo y la localización de la superficie muestreada.

### Concentraciones personales de plomo en aire

Las concentraciones personales de plomo en aire en polígonos cerrados observadas en el presente estudio fueron mayores a las encontradas en un estudio de instructores de tiro en polígonos cerrados en Estados Unidos [ $n = 315$ ; MG (rango) = 5.8 (0.08-168.4)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] (Greenberg et al., 2016), y similares a las de un estudio de trabajadores de un polígono de tiro cerrado en Corea [ $n = 120$ ; MG (rango) = 64 (nd-1,739)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] (Park et al., 2016). Por su parte, las concentraciones de plomo en aire en polígonos abiertos obtenidas en el presente estudio fueron menores a las de un estudio de instructores de tiro realizado en el estado de Virginia, Estados Unidos [ $n = 26$ ; MG (rango) = 87.0 (3.8-299)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] (Tripathi, Sherertz, Llewellyn, & Armstrong, 1991). Las diferencias en las concentraciones personales de plomo en aire de trabajadores de polígonos cerrados o abiertos de los distintos estudios podrían deberse a diferencias en: i) *tiempo de exposición* [MG (rango) = 87.0 (3.8-299)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una jornada de 8 horas en un polígono abierto (Tripathi et al., 1991) vs. los resultados de este estudio para una tarea con un tiempo de exposición de 1.4 horas en polígonos abiertos = 28.0 (5.0-84.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], ii) *tipo de tareas realizadas por los oficiales* [MG (rango) = 85.0 (40.0-137.0)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en supervisores de polígonos de tiro cerrados en Corea que supervisaban tanto entrenamientos como pruebas (Park et al., 2016) vs. las concentraciones de los agentes incluidos en este estudio quienes supervisan únicamente pruebas = 57.0 (27-215)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en polígonos cerrados], iii) y *calibre del arma* [MG = 286.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un polígono

abierto con un arma calibre 22 (Bonanno, Robson, Buckley, & Modica, 2002) vs. los resultados de este estudio en polígonos abiertos con arma calibre 9 mm = 20.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Las diferencias en las concentraciones de plomo en aire entre agentes que supervisaban prácticas de tiro en polígonos cerrados y abiertos que fueron observadas en el estudio actual concuerdan con las reportadas en una revisión de literatura sobre la exposición a plomo en polígonos de tiro de Estados Unidos (ver Anexo 3) (Laidlaw et al., 2017). Esta revisión encontró concentraciones de plomo en aire hasta 10 veces más altas en polígonos de tiro cerrados (rango = nd-2,897  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que en polígonos abiertos (rango = nd-286  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por su parte, las concentraciones de plomo en aire halladas en este estudio fueron aproximadamente 2.8 veces mayores en polígonos cerrados [rango = 27.0-215.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en polígonos cerrados vs. 5.0-84.0 en polígonos abiertos].

Hasta la fecha, la asociación encontrada en el presente estudio entre las concentraciones personales de plomo en aire de los agentes y la realización de tiros de práctica al finalizar la supervisión de las pruebas no ha sido analizada ni reportada en estudios previos. Esta asociación podría deberse a una menor distancia entre el arma y la zona respiratoria de los agentes cuando éstos realizan los tiros de práctica. Notablemente, algunos estudios han encontrado que la cantidad de disparos por día es un factor que influye directamente en la concentración de plomo en aire (Greenberg et al., 2016), por lo que la realización de tiros de práctica al final de la supervisión podría ocasionar una mayor exposición a plomo por parte del oficial.

En concordancia con los hallazgos de un estudio realizado en oficiales instructores de polígonos de tiro de las operaciones de entrenamiento especial de la marina en Estados Unidos (n = 30) (Betancourt, 2012), en este estudio se observó una asociación inversa entre las concentraciones personales de plomo en aire de los agentes que supervisaban prácticas de tiro y la velocidad del viento en los polígonos donde se realizaban estas prácticas. Un estudio reciente de exposición al plomo en instructores de tiro en polígonos abiertos de Estados Unidos evaluó prácticas de tiro durante el día y la noche con el fin de examinar diferencias en las concentraciones de plomo en aire según cambios en las condiciones climáticas (i.e., temperatura, humedad y velocidad del viento) (Greenberg et al., 2016). Este estudio no



observó una correlación entre las condiciones medioambientales medidas y las concentraciones de plomo en aire, posiblemente debido a que no ocurrieron condiciones climáticas extremas durante la realización del estudio.

A pesar de que múltiples estudios han reportado asociaciones entre las concentraciones personales de plomo en aire y el tipo de munición (Dams et al., 1988; Greenberg et al., 2016; Laidlaw et al., 2017; Tripathi et al., 1991), en el presente estudio no fue factible evaluar esta asociación pues en Costa Rica únicamente se importa munición no recubierta (“*nonjacketed lead ammunition*”); además, la munición libre de plomo o recubierta no cuenta con los permisos requeridos por ley. Es importante destacar que un estudio en instructores de tiro en Virginia, Estados Unidos, encontró que el uso de balas recubiertas redujo más de 20 veces las concentraciones personales de plomo en aire de los instructores en comparación con el uso de balas no recubiertas en el polígono (Tripathi et al., 1991). El Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos (NRC, por sus siglas en inglés) recomienda el uso de municiones con recubierta de nylon, cobre o con base de zinc, pues se ha demostrado que estos tipos de municiones reducen efectivamente la exposición al plomo (National Research Council, 2012). Un estudio de caso con un tirador recreacional, mostró que el uso de balas libres de plomo o recubiertas puede reducir los niveles de plomo en aire hasta en un 80% (Sahai, 2015).

### **Concentraciones de plomo en sangre**

Las concentraciones de plomo en sangre observadas en este estudio fueron mayores a las de un estudio realizado en instructores de tiro en polígonos abiertos en Israel [n = 174; MG (rango) = 0.11 (nd-16.5) µg/dL] (Greenberg et al., 2016), pero menores a las reportadas por estudios realizados en polígonos de tiro cerrados en Corea [n = 120; MG (DEG) = 11.3 µg/dL (9.4)] (Park et al., 2016), en polígonos cerrados en Washington DC [n = 4; rango = 3.4-11.0 µg/dL] (Grant, Eisenberg, & Methner, 2017), en polígonos cerrados en California [n = 2,056; rango = 19.9-40.7 µg/dL] (Page et al., 2014) y en polígonos cerrados en Alaska [n = 67; MG (rango) = 24.3 (21.0-31.0) µg/dL]. Todas las concentraciones de plomo en sangre medidas en el presente estudio se encontraban por debajo de los límites de exposición

ocupacional establecidos a nivel nacional e internacional. Estudios previos han encontrado concentraciones de plomo en sangre más altas en instructores de tiro de polígonos de tiro cerrados (rango = 2.1-125 µg/dL) que en instructores de polígonos abiertos (rango = <0.29-45 µg/dL) (Laidlaw et al., 2017). Lamentablemente, en este estudio no fue factible evaluar diferencias en las concentraciones de plomo en sangre por tipo de polígono debido a que los oficiales de la fuerza pública realizan visitas a ambos tipos de polígonos de forma aleatoria.

En este estudio se observó una asociación positiva entre las concentraciones de plomo en sangre y el consumo de alimentos en el polígono. Este hallazgo es inconsistente con los resultados de un estudio realizado con 4 empleados de un polígono privado en Colorado, Estados Unidos que encontró una asociación nula entre el consumo de alimentos en el polígono y las concentraciones de plomo en sangre (Novotny, Cook, Hughes, & Lee, 1987); los autores del estudio realizado en Colorado atribuyeron esta asociación nula a su tamaño de muestra reducido. El NRC y la OSHA han establecido que la ingesta de plomo en polígonos de tiro es preocupante debido a la deposición del plomo en las manos de los tiradores durante el disparo o bien por la contaminación secundaria del personal del polígono al entrar en contacto con las superficies sobre las cuales se ha acumulado el plomo (National Research Council, 2012).

Múltiples estudios han reportado diferencias en las concentraciones de plomo en sangre de acuerdo al puesto de trabajo (Laidlaw et al., 2017). En el presente estudio se observó que los agentes de la ENP presentaban concentraciones de plomo en sangre más altas que los agentes de la UOAE. Esta diferencia podría deberse a que, durante el período de estudio, los agentes de la ENP realizaron más visitas a polígonos que los demás agentes. Además de la unidad de trabajo, se encontró que la antigüedad en el puesto de trabajo influía en las concentraciones de plomo en sangre. A pesar de que esta asociación no ha sido evaluada o reportada por estudios previos, es probable que se encuentre relacionada con la edad de los oficiales, la cantidad de años de laborar en Fuerza Pública y la frecuencia de visitas a polígonos. Un estudio con arqueros y tiradores de polígonos de tiro realizado en la provincia sudafricana de Gauteng evaluó la edad como posible variable demográfica influyente en la exposición ocupacional a

plomo (Mathee, de Jager, Naidoo, & Naicker, 2017). A pesar de que en dicho estudio se observaron niveles de plomo en sangre mayores en oficiales de edad más avanzada (promedio aritmético = 3.3 µg/dL en oficiales con una edad media de 32 años vs. 9.3 µg/dL en oficiales con una edad media de 39 años), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Un estudio que incluyó a 1,987 participantes, adolescentes entre 12 y 19 años y adultos con más de 60 años, de la encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Estados Unidos (NHANES por sus siglas en inglés) encontró que los grupos de mayor edad (>63 años) presentaban concentraciones de plomo en sangre más altas (Bouchard et al., 2009).

### **Relación de las concentraciones personales de plomo en aire y sangre**

En este estudio no se encontró una asociación significativa entre las concentraciones de plomo en aire y plomo en sangre. Sin embargo, otros estudios han evaluado esta asociación con resultados inconsistentes. El NRC considera que no existe una relación clara entre las concentraciones de plomo en ambas matrices (National Research Council, 2012). En contraste, una revisión de la literatura reciente sobre la exposición a plomo en polígonos de tiro en Estados Unidos encontró que, en la mayoría de los estudios analizados, las concentraciones de plomo en sangre se asociaban de forma positiva con las concentraciones de plomo en aire (Laidlaw et al., 2017).

La falta de correlación entre las concentraciones de plomo en aire y plomo en sangre observada en este estudio podría deberse a la variabilidad en la exposición de los oficiales y a otras rutas de exposición al plomo no cuantificadas en este estudio; tal es el caso de la cantidad de plomo en los alimentos y agua consumida (Sahai, 2015). Según el cálculo del coeficiente de correlación intraclase, podemos inferir que una mayor cantidad de mediciones repetidas de plomo en aire podrían mostrar la exposición real a plomo en oficiales que supervisan pruebas en polígonos de tiro, pues el ICC reportado muestra una fiabilidad media (ICC = 0.48); mientras que las mediciones de plomo en sangre sí muestran una muy buena fiabilidad de las mediciones (ICC = 0.86).

## **Asociaciones de concentraciones personales de plomo en aire y sangre con efectos en la salud**

A la fecha, pocos estudios han evaluado la exposición ocupacional a plomo en polígonos de tiro y su asociación con efectos en la salud. Un estudio realizado en el año 2009 con personal de la Fuerza Pública de México, evaluó la exposición ocupacional al plomo de 65 hombres que regularmente manipulaban armas de fuego, y encontró una asociación entre los niveles de plomo en sangre y la presencia de síntomas neuropsiquiátricos por la exposición a plomo; asimismo, los participantes reportaron padecer al menos uno de los siguientes síntomas: cefaleas, dolor estomacal, náuseas y malestar físico general (Aguilar et al., 2016). En Colorado, Estados Unidos, se presentó el caso de un supervisor de polígono con concentraciones de plomo en sangre de 88 µg/dL quien reportaba cefaleas intermitentes, adormecimiento y debilidad en la pierna derecha (Novotny et al., 1987). En Corea, un oficial que laboraba en un polígono de tiro con concentraciones de plomo en sangre de 64 µg/dL presentó una presión arterial elevada (Kang & Park, 2017). En el presente estudio, varios de los oficiales evaluados reportaron algunos de los síntomas antes mencionados; no obstante, solamente la asociación entre las concentraciones de plomo en aire y la pérdida auto-reportada de peso en el último año se mantuvo en los modelos ajustados.

## **Concentraciones de plomo en superficies**

En este estudio se observó que la totalidad de las concentraciones de plomo en superficies excedían el límite de carga de plomo aceptable establecido por el Centro de Salud Ambiental de la Marina de Estados Unidos; se utilizó como referencia dicho límite pues los organismos nacionales e internacionales no han establecido valores de referencia para este fin.

Las concentraciones más altas de plomo en superficies se detectaron en las mesas de tiro. Un estudio realizado en un polígono cerrado en California observó concentraciones de plomo más altas en las armas que en las mesas de tiro (Centers for Disease Control and Prevention, 2012). No obstante, en el presente estudio no se evaluó la cantidad de plomo impregnada directo en el arma pues los oficiales tienen un mayor contacto con mesas y paredes que con el arma.

En este estudio no se encontró una asociación entre las concentraciones personales de plomo en aire y las concentraciones de plomo en superficies de trabajo. Consistente con lo hallado en este estudio, investigadores del Programa de Prevención de Envenenamiento por plomo de California y la Universidad de Berkeley encontraron que la exposición al plomo en aire no se correlacionaba con las concentraciones en áreas de trabajo (Piacitelli, 2006). Por su parte, la NIOSH ha demostrado que, a pesar de que las concentraciones de plomo en aire sean inferiores al límite de exposición, puede existir un riesgo importante de exposición al plomo debido al contacto con las superficies contaminadas y a la acumulación de polvo. La OSHA no establece una relación directa entre las concentraciones de plomo en aire y plomo en superficies (Lewis et al., 2006); sin embargo, establece que el monitoreo de plomo en aire desestima la exposición a este metal a través de rutas no inhalatorias, en particular, la ingestión de plomo debido a la deposición de partículas en las manos de los tiradores y personal presente durante el disparo, o bien la contaminación secundaria de las manos después del contacto con las superficies contaminadas. El tamaño de las partículas de plomo en el aire influye en la cantidad de plomo que puede ser inhalado o bien, que se depositan en las superficies, ya que a medida que las partículas son más grandes, tienen una tendencia a depositarse primeramente en las superficies (Kang & Park, 2017).

En este estudio, no se analizó la correlación entre las concentraciones de plomo en superficies y los niveles de plomo en sangre pues la toma de muestras de sangre y los monitores *in situ* no se realizaron durante el mismo día. Sin embargo, estudios han demostrado que puede existir una correlación entre las concentraciones de plomo en sangre y superficies, pues la exposición por ingestión depende en gran medida de las prácticas de trabajo y de higiene personal (Ramsey & Niemeir, 2011), y a medida que aumenta el número de contactos con superficies contaminadas con plomo, aumenta la cantidad de plomo transferida a las manos (Sleuwenhoek & Tongeren, 2006).

### **Sistema de ventilación**

La evaluación del sistema de ventilación de los dos polígonos cerrados mostró que la velocidad del aire en las líneas de tiro fluctuaba bastante en relación con la distancia con respecto al punto de salida del

aire. Al comparar los resultados de cada polígono con la velocidad mínima recomendada por NIOSH (Anania & Seta, 1975), se observó que el polígono A (cerrado) cumplía con esta velocidad en 3 de los 5 puntos medidos; mientras que el polígono B (cerrado) incumplía con dicho valor en 3 de los 5 puntos analizados. La disminución de la velocidad del aire a lo largo de la línea de tiro es preocupante pues un sistema de ventilación inadecuado puede relacionarse con exposiciones elevadas a plomo en trabajadores de estos polígonos (Kang & Park, 2017; Tripathi et al., 1991).

## CONCLUSIONES

Este es el primer estudio que examina las concentraciones de plomo en aire y en la sangre de agentes de la Fuerza Pública y sus posibles factores determinantes en polígonos de tiro en un país centroamericano. De igual forma es la primera investigación que examina asociaciones entre las concentraciones de plomo personales y efectos a la salud auto percibidos.

Las concentraciones de plomo en aire más altas se observaron en polígonos cerrados; y como factores explicativos de dichas concentraciones se identificaron, además del tipo de polígono, la realización de tiros de práctica al finalizar la supervisión de las pruebas de tiro y la velocidad del aire.

Todos los participantes del estudio presentaron concentraciones de plomo en sangre inferiores al límite de exposición e inclusive un 30% mostró concentraciones inferiores al límite de detección. Como principales factores determinantes de las concentraciones de plomo en sangre se identificaron la unidad de trabajo, el consumo de alimentos en el polígono y la edad. No se observó una correlación entre las concentraciones personales de plomo en aire y sangre.

Varios síntomas asociados con exposición ocupacional al plomo fueron reportados por los oficiales; no obstante, únicamente se pudo demostrar estadísticamente la asociación entre las concentraciones de plomo en aire y la pérdida auto-reportada de peso en el último año.

Se detectaron concentraciones de plomo en todas las superficies de las áreas de trabajo evaluadas; un 75% de las muestras presentaron concentraciones superiores al valor límite de referencia. Las concentraciones más altas fueron medidas en las mesas de trabajo.

Se identificó que los sistemas de ventilación de los polígonos de tiro cerrados no funcionaban de acuerdo a los parámetros establecidos por NIOSH. Este hallazgo es preocupante pues un sistema de ventilación inadecuado podría ocasionar exposiciones elevadas a plomo en los trabajadores de estos polígonos.

Los agentes de la Fuerza Pública que visitan polígonos de tiro privados podrían estar expuestos a concentraciones elevadas de plomo si no se aplican los controles adecuados durante la supervisión de pruebas prácticas. Algunas recomendaciones para disminuir la exposición al plomo incluyen el remplazo de munición no recubierta por munición libre de plomo o recubierta, el uso de un sistema de ventilación que proporcione aire uniforme en cada línea de tiro, capacitación del personal en prácticas personales de higiene adecuadas, mantenimiento periódico del polígono de tiro, implementación de prácticas apropiadas para la limpieza del polígono y establecimiento de un programa de biomonitoreo de las concentraciones de plomo en los trabajadores.



## RECOMENDACIONES

A pesar de que los valores encontrados en la población de estudio no sugieren una sobreexposición al plomo, se establecen a continuación una serie de recomendaciones desde la perspectiva de la prevención, buscando evitar toda exposición a este metal, aunque sea mínima. A raíz de los hallazgos del presente estudio, se buscará diseñar y ejecutar estudios epidemiológicos más exhaustivos en este grupo ocupacional, así como continuar con la valoración de riesgos por exposición a plomo en otros grupos con exposiciones similares. Al mismo tiempo, se desarrollará una estrategia de comunicación para la entrega de los resultados de este estudio a los distintos actores involucrados.

Las siguientes recomendaciones se basan en el procedimiento establecido en el Apéndice 3, el cual considera el enfoque de jerarquía de controles. Este enfoque agrupa las acciones según la probable efectividad para reducir o eliminar los riesgos; se inicia con eliminar o sustituir sustancias o procesos peligrosos e instalar controles de ingeniería para reducir la exposición y así proteger al trabajador. Hasta implementar todas las opciones viables de dicho tipo de control, se buscan las medidas administrativas y de uso de equipos de protección personal. Siguiendo este esquema, se recomienda:

### *Eliminación o sustitución*

- 1. Limitar el uso de munición con plomo.** De ser posible utilizar munición libre de plomo, o al menos munición recubierta (*jacketed ammunition*) con bajo contenido de plomo en el fulminante.
- 2. Prohibir el uso de balas recargadas.** Los oficiales deberán verificar, previo al inicio de las pruebas, que la munición esté debidamente registrada y autorizada por la Dirección de Armamento.

### *Controles ingenieriles*

- 1. Implementar sistemas de ventilación adecuados en polígonos de tiro.** Exigir que los polígonos cerrados cuenten con un sistema de ventilación adecuado para este tipo de actividad. El mismo deberá ser independiente del sistema de ventilación general del polígono y preferiblemente deberá

cumplir con los requerimientos mínimos establecidos por NIOSH y ACGIH (ANSI/ASHRAE Estándar 62-2001, *Ventilación para calidad del aire aceptable en polígonos de tiro cerrados*).

El sistema de ventilación deberá funcionar al 100% cada vez que se utilice el área de tiro.

Se recomienda realizar una evaluación del sistema posterior a su instalación para evaluar su efectividad. Se deberá considerar la realización de una *prueba de humo* para visualizar los patrones de flujo de aire y la dirección del movimiento del aire.

Considerar que:

- i. Todo el aire suministrado al polígono debe distribuirse uniformemente en todas las áreas para evitar áreas de turbulencia.
  - ii. La velocidad del aire en las líneas de tiro debe ser de mínimo 0.25 m/s y debe estar distribuida uniformemente.
  - iii. El sistema de ventilación debe expulsar más aire del que suministra (alrededor del 10%), para asegurar una presión negativa en el sistema.
- 2. Condiciones de infraestructura.** Se recomienda inspeccionar todas las paredes del área de tiro para identificar posibles escapes de aire. En caso de hallar algún orificio, hueco o grietas, se deberá sellar para evitar que el aire contaminado con plomo migre desde el área de tiro hacia otras partes del edificio.
- 3. Área de casilleros.** Se recomienda que los casilleros en donde el personal puede disponer de sus pertenencias, se ubiquen separados del área de tiro para reducir la posibilidad de contaminación con plomo y posterior movilización al hogar u oficinas.

#### *Controles administrativos*

Se refiere a prácticas y procedimientos de trabajo dictadas por el empleador (MSP) para reducir o prevenir la exposición a plomo en polígonos de tiro. Su efectividad dependerá, en este caso, del compromiso del empleador, el dueño o administrador del polígono y de la aceptación de los empleados.

El monitoreo y la supervisión serán necesarios para asegurar el cumplimiento de dichos procedimientos, y en caso de ser necesario, se deberán establecer sanciones por incumplimiento.

**1. Protocolos de limpieza en el polígono de tiro.** Solicitar a los propietarios de los polígonos que implementen protocolos de limpieza adecuados, de forma tal que, al momento de realizar las pruebas de tiro, las mesas de trabajo, superficies de tiro y armas se encuentren libres de plomo.

Se deberá prohibir el barrido en seco en los polígonos de tiro. El único medio permitido para la recolección de casquillos del suelo será el aspirado (aspiradora con filtro de partículas de alta eficiencia), seguido de la limpieza en húmedo (solución eliminadora de plomo en la concentración sugerida por el fabricante) para limpiar las superficies potencialmente contaminadas.

**2. Buenas prácticas de higiene personal.**

- i. *Lavado de manos.* Se ha demostrado que el lavado de manos con agua y jabón convencional no es un método eficaz para eliminar el plomo de la piel; se requiere de la limpieza de la piel para asegurar la remoción del contaminante. En el mercado se pueden adquirir toallitas limpiadoras y jabones específicos para remoción de metales.
- ii. *Consumo de alimentos y bebidas.* Se deberá restringir el consumo de alimentos a un área destinada únicamente para este fin, y el propietario del polígono deberá brindar los medios para que los oficiales se limpien las manos cuando sea requerido. En caso de que el consumo de alimentos se realice posterior a la finalización de las pruebas, es recomendable que los oficiales se laven las manos, los antebrazos y la cara antes de retirarse del polígono.

**3. Vigilancia médica.** Implementar un programa de monitoreo biológico basado en la normativa OSHA (Estándar 29 CFR 1910.1025).

Los expertos recomiendan para prevenir los efectos agudos y crónicos del plomo en la salud, realizar pruebas de plomo en sangre a todos los trabajadores expuestos al plomo al menos una vez cada seis meses, independientemente de la concentración de plomo en el aire que se haya detectado.

Además, se deberá establecer un programa paralelo de salud auditiva en el que se realice al menos una vez al año una audiometría de rastreo y/o audiometría clínica para prevenir el daño auditivo de los funcionarios, el cual puede agravarse por la sinergia con el plomo en polígonos de tiro.

En el apéndice 3 se muestra una guía de cómo intervenir según los niveles de plomo en sangre que se identifiquen en la población.

- 4. Capacitación continua.** Se recomienda brindar formación anual de actualización de riesgos asociados a la exposición al plomo a los oficiales que realizan regularmente supervisión en polígonos de tiro.

Cuando se incorpore un oficial nuevo a esta tarea, se le deberá brindar una capacitación introductoria en donde se le explique como mínimo:

- i. Fuentes de exposición al plomo en polígonos de tiro.
- ii. Procedimientos y prácticas seguras de trabajo.
- iii. Controles existentes.

- 5. Rotación de personal.** Se recomienda rotar al personal regularmente y considerar en la planificación de visitas la antigüedad y edad de los funcionarios con el fin de que los oficiales de edad más avanzada o que llevan mayor cantidad de años realizando esta función, visiten con menor frecuencia los polígonos.

#### *Equipo de protección personal*

- 1. Dotar de vestimenta a los oficiales para ser utilizada únicamente en polígonos de tiro.** El atuendo deberá incluir pantalón largo, camisa de manga larga y calzado de seguridad. Los oficiales deberán quitarse las prendas antes de salir del polígono, además deberán disponerlas en una bolsa plástica con sello hermético y de ser posible deberán bañarse antes de salir del polígono. Se aconseja que el personal lave estas prendas en la delegación policial sin combinarlas con prendas de otros oficiales. En la medida de lo posible, se prohibirá a los oficiales llevar a sus casas la ropa utilizada en el polígono.

Todo lo anterior se podrá incorporar en un *Programa de Salud y Seguridad en polígonos de tiro*. La implementación del Programa le corresponderá en su mayoría a los propietarios de los polígonos, por lo que al MSP le corresponderá exigir su cumplimiento. Se espera que el Programa contemple como mínimo los siguientes ejes:

1. Tipo de munición.
2. Sistema de ventilación (polígonos de tiro cerrados).
3. Protocolos de limpieza.
4. Formación continua.
5. Prácticas de trabajo seguras.
6. Monitoreo biológico.
7. Equipo de Protección Personal.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACGIH. (2018). *Table of exposure limits for chemical and biological substances*.
- Aguilar, M., Téllez, C., Juárez, P., Haro, G., Mercado, G., Gopar, N., & Cabello, L. (2016). Blood lead determinants and the prevalence of neuropsychiatric symptoms in firearm users in Mexico. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 29(2), 219–228. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00358>
- Anania, & Seta. (1975). *Lead exposure and design considerations for indoor firing ranges*. Center for Disease Control.
- ANSI/ASHRAE. (2007). *Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior*. Retrieved from [http://www.ditar.cl/archivos/Normas\\_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf](http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf)
- Baertolucci, Singh & Bae. (2015). In A. A. Bartolucci, K. P. Singh, & S. Bae, *Introduction to Statistical Analysis of Laboratory Data* (pp. i–xvi). <https://doi.org/10.1002/9781118736890.fmatter>
- Betancourt. (2012). *Determinants of airborne lead exposure during special operations training for United States Marines*. San Diego State University, San Diego.
- Bonanno, J., Robson, M. G., Buckley, B., & Modica, M. (2002). Lead exposure at a covered outdoor firing range. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68(3), 315–323.
- Bouchard, M. F., Bellinger, D. C., Weuve, J., Matthews-Bellinger, J., Gilman, S. E., Wright, R. O., ... Weisskopf, M. G. (2009). Blood Lead Levels and Major Depressive Disorder, Panic Disorder, and Generalized Anxiety Disorder in US Young Adults. *Archives of General Psychiatry*, 66(12), 1313. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2009.164>
- CDC. (2001). *Health Hazard Evaluations: Issues Related to Occupational Exposure to Lead 1994 to 1999*. CDC.
- CDC. (2018a, November 20). Lead: Lead Exposure Limits - NIOSH Workplace Safety and Health Topic. Retrieved March 25, 2019, from <https://www.cdc.gov/niosh/topics/lead/limits.html>

- CDC. (2018b, November 28). Adult Blood Lead Epidemiology and Surveillance (ABLES): Program Description: NIOSH Workplace Safety and Health Topic. Retrieved March 25, 2019, from <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ables/description.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2012). *Reducing exposure to lead and noise at outdoor firing ranges*. <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2013104>
- Cortes, & Rubio. (2010). Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 61(3), 247–255.
- Dams, Vandecasteele, Desmet, Helsen, Nagels, & Vermeir. (1988). *Element concentrations in the air of an indoor shooting range*. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90309-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90309-9)
- Fent, Gibbins, & Niemeier. (2013). *Evaluation of Employee Exposure to Lead and Other Chemicals at a Police Department*. Centers for Disease Control and Prevention.
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26. <https://doi.org/10.4321/S1137-66272003000200008>
- Fischbein, A., Rice, C., Sarkozi, L., Kon, S. H., Petrocci, M., & Selikoff, I. J. (1979). Exposure to Lead in Firing Ranges. *JAMA*, 241(11), 1141–1144. <https://doi.org/10.1001/jama.1979.03290370045027>
- Flora, G., Gupta, D., & Tiwari, A. (2012). Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdisciplinary Toxicology*, 5(2), 47–58. <https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2>
- Grant, M., Eisenberg, J., & Methner, M. (2017). *Evaluation of Lead Exposure at an Indoor Law Enforcement Firing Range*. 42.
- Greenberg, N., Frimer, R., Meyer, R., Derazne, E., & Chodick, G. (2016). Lead Exposure in Military Outdoor Firing Ranges. *Military Medicine*, 181(9), 1121–1126. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00454>
- Han, L., Wang, X., Han, R., Xu, M., Zhao, Y., Gao, Q., ... Zhang, H. (2018). Association between blood lead level and blood pressure: An occupational population-based study in Jiangsu province, China. *PLOS ONE*, 13(7), e0200289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200289>
- Ibarra, F. de la V. (2013). *Toxicología en Salud Ocupacional*.

- INTECO. (2016). *INTE 31-08-04 :2016 Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo*. INTECO.
- Kang, K. W., & Park, W.-J. (2017). Lead Poisoning at an Indoor Firing Range. *Journal of Korean Medical Science*, 32(10), 1713. <https://doi.org/10.3346/jkms.2017.32.10.1713>
- Kosnett, M. J., Wedeen, R. P., Rothenberg, S. J., Hipkins, K. L., Materna, B. L., Schwartz, B. S., ... Woolf, A. (2007). Recommendations for Medical Management of Adult Lead Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 115(3), 463–471. <https://doi.org/10.1289/ehp.9784>
- Laidlaw, M. A. S., Filippelli, G., Mielke, H., Gulson, B., & Ball, A. S. (2017). Lead exposure at firing ranges—a review. *Environmental Health*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0246-0>
- Lewis, R. D., Condoor, S., Batek, J., Ong, K. H., Backer, D., Sterling, D., ... Ashley, P. (2006). Removal of lead contaminated dusts from hard surfaces. *Environmental Science & Technology*, 40(2), 590–594.
- Mason, L. H., Harp, J. P., & Han, D. Y. (2014). Pb Neurotoxicity: Neuropsychological Effects of Lead Toxicity. *BioMed Research International*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/840547>
- Mathee, A., de Jager, P., Naidoo, S., & Naicker, N. (2017). Exposure to lead in South African shooting ranges. *Environmental Research*, 153, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.11.021>
- Metayer, C., Scelo, G., Kang, A. Y., Gunier, R. B., Reinier, K., Lea, S., ... Hammond, S. K. (2016). A task-based assessment of parental occupational exposure to organic solvents and other compounds and the risk of childhood leukemia in California. *Environmental Research*, 151, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.047>
- National Research Council. (2012). *Potential Health Risks to DOD Firing-Range Personnel from Recurrent Lead Exposure*. <https://doi.org/10.17226/18249>
- Navy Environmental Health Center. (2002). *Indoor Firing Ranges Industrial Hygiene Technical Guide*. Retrieved from <https://www.med.navy.mil/sites/nmcphc/Documents/policy-and-instruction/ih-indoor-firing-ranges-technical-guide.pdf>
- Novotny, T., Cook, M., Hughes, J., & Lee, S. A. (1987). Lead exposure in a firing range. *American Journal of Public Health*, 77(9), 1225–1226. <https://doi.org/10.2105/AJPH.77.9.1225>



- OSHA. (2002). *Metal and metalloid particulates in workplace atmospheres ID-121*. Retrieved from <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id121/id121.html>
- OSHA. (2015). *Protecting Workers from Lead Hazards*. Retrieved from [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_unique?p\\_table\\_name=STANDARDS&p\\_unique\\_file=1910\\_1025&p\\_anchor\\_name=](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_unique?p_table_name=STANDARDS&p_unique_file=1910_1025&p_anchor_name=)
- Page, Beaucham, & Methner. (2014). *Lead exposure at fire ranges and gun store*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2013-0119-3219.pdf>
- Park, W.-J., Lee, S.-H., Lee, S.-H., Yoon, H.-S., & Moon, J.-D. (2016). Occupational Lead Exposure from Indoor Firing Ranges in Korea. *Journal of Korean Medical Science*, 31(4), 497. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.4.497>
- Patrick, L. (2006). *Lead Toxicity, A Review of the Literature. Part I: Exposure, Evaluation, and Treatment*. 11(1), 21.
- Piacitelli, G. (2006). *Exposure assessment and methods of compliance*: 10.
- Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 120. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155>
- Popovic, M., McNeill, F. E., Chettle, D. R., Webber, C. E., Lee, C. V., & Kaye, W. E. (2005). Impact of Occupational Exposure on Lead Levels in Women. *Environmental Health Perspectives*, 113(4), 478–484. <https://doi.org/10.1289/ehp.7386>
- Prokopowicz, Sobczak, Szula, Zaciera, Kurek, & Szoltysek. (2017). Effect of occupational exposure to lead on new risk factors for cardiovascular diseases. *Occupational and Environmental Medicine*, 74, 366–373.
- Queiroz, E. K. R. de, & Waissmann, W. (2006). Occupational exposure and effects on the male reproductive system. *Cadernos de Saúde Pública*, 22(3), 485–493. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000300003>
- Ramos, W., Munive, L., Alfaro, M., Calderón, M., Gonzáles, I., & Núñez, Y. (2009). *Intoxicación plúmbica crónica: una revisión de la problemática ambiental en el Perú*. 13(2), 8.

- Ramsey, & Niemeir. (2011). *Evaluation of Lead Exposure at an Indoor Firing Range – California*. CDC.
- Rastogi, S. K. (2008). Renal effects of environmental and occupational lead exposure. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 12(3), 103–106. <https://doi.org/10.4103/0019-5278.44689>
- Rocha, E. D., Sarkis, J. E. S., Carvalho, M. de F. H., Santos, G. V. dos, & Canesso, C. (2014). Occupational exposure to airborne lead in Brazilian police officers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217(6), 702–704. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.12.004>
- Sahai, D. (2015). *Lead exposures among recreational shooters*. Retrieved from <http://www.deslibris.ca/ID/244732>
- Sánchez, M., Sanz, B., Apellaniz, G., & Pascual, I. (2000). *The lead like labor pollutant. Valuation of plumbies test in a bus of marksmen of elite (C.N.P.)*. 1, 4.
- Schwartz, & Otto. (1991). Lead and Minor Hearing Impairment. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 46(5), 300–305. <https://doi.org/10.1080/00039896.1991.9934391>
- Shargorodsky, J., Curhan, S. G., Henderson, E., Eavey, R., & Curhan, G. C. (2011). Heavy metals exposure and hearing loss in US adolescents. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, 137(12), 1183–1189. <https://doi.org/10.1001/archoto.2011.202>
- Sheiner, E. K., Sheiner, E., Hammel, R. D., Potashnik, G., & Carel, R. (2003). Effect of Occupational Exposures on Male Fertility: Literature Review. *INDUSTRIAL HEALTH*, 41(2), 55–62. <https://doi.org/10.2486/indhealth.41.55>
- Sleeuwenhoek, & Tongeren. (2006). *Assessment of dermal exposure to inorganic lead caused by direct skin contact with lead sheet and moulded PVC profiles*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/237706042\\_Assessment\\_of\\_dermal\\_exposure\\_to\\_inorganic\\_lead\\_caused\\_by\\_direct\\_skin\\_contact\\_with\\_lead\\_sheet\\_and\\_moulded\\_PVC\\_profiles](https://www.researchgate.net/publication/237706042_Assessment_of_dermal_exposure_to_inorganic_lead_caused_by_direct_skin_contact_with_lead_sheet_and_moulded_PVC_profiles)

- Solano, & Arias. (2013). *Informe nacional sobre violencia armada e inseguridad en Costa Rica* (No. 350.75 AR696i). San José, Costa RICA: Fundación del Servicio Exterior para la Paz y Democracia.
- Staudinger, & Roth. (1998). Occupational Lead Poisoning. *American Family Physician*, 54(4), 719–726.
- Torres, M. A. (2014). *Characterizing Lead Exposure at a U.S. Coast Guard Indoor Firing Range* (Thesis). University of Washington.
- Tripathi, R. K., Sherertz, P. C., Llewellyn, G. C., & Armstrong, C. W. (1991). Lead exposure in outdoor firearm instructors. *American Journal of Public Health*, 81(6), 753–755.  
<https://doi.org/10.2105/AJPH.81.6.753>
- Viegas, Carolino, & Tiago. (2015). *The importance of task-based approach for assessing occupational exposure to particles – The case of surfboards production*. 227–231.
- Vivante, Hirshoren, Shochat, & Merkel. (2008). Association between acute lead exposure in indoor Firing Ranges and iron metabolism. 10, 292–295.  
<https://doi.org/10.1001/jama.1979.03290370045027>
- Wang, J., Li, H., & Bezerra, M. L. S. (2017). Assessment of shooter's task-based exposure to airborne lead and acidic gas at indoor and outdoor ranges. *Journal of Chemical Health and Safety*, 24(4), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2016.11.003>
- Wani, A. L., & Usmani, J. A. (2016). Occupational stress among workers having exposure to lead. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 4(4), 163–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.cegh.2015.12.004>

## APÉNDICES

### APÉNDICE 1. Consentimiento informado para participación en el proyecto

**Título del estudio:** Exposición ocupacional a plomo en agentes policiales que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica.

**Fecha de formulación del protocolo:** 12 de junio del 2017

**Versión del consentimiento informado:** Versión 2, 02 de noviembre de 2017

Esta investigación forma parte de la tesis de maestría de la Srta. Rosirene Calvo Garita (Profesional en Salud, Seguridad e Higiene Ocupacional del Ministerio de Seguridad Pública y estudiante de la Maestría en Salud Ocupacional con mención en Higiene Ambiental (coordinada por el Tecnológico de Costa Rica y la Universidad Nacional) y es coordinada por ella en conjunto con Dra. Ana María Mora (investigadora del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional), el Dr. Martin Cohen (investigador de la Universidad de Washington, Seattle) y la M.Sc. María Gabriela Rodríguez (investigadora del Laboratorio de Higiene Analítica del ITCR). El estudio es financiado por el Ministerio de Seguridad Pública y el Programa de Maestría en Salud Ocupacional de la Universidad Nacional y el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

#### ***¿Cuál es el propósito de este estudio?***

Queremos estudiar si los agentes de la Fuerza Pública que realizan supervisión de prácticas en polígonos de tiro privados tienen contacto con plomo. También queremos conocer cuáles son las situaciones o condiciones que afectan el contacto que tienen estos agentes con el plomo.

#### ***¿Quiénes pueden participar en este estudio?***

Todos(as) los(as) agentes policiales activos del Ministerio de Seguridad Pública que tengan un puesto de Agente de Armas, Explosivos y Seguridad Privada según el Manual de Clases Policiales y realicen supervisión de prácticas de tiro en polígonos privados en Costa Rica. Esperamos que cerca de 18 agentes policiales acepten participar en este estudio.

#### ***¿Qué pasará durante este estudio?***

- Primeramente, coordinaremos una reunión inicial en las instalaciones de la Dirección de Unidades Especializadas (DUE). Esta actividad tendrá una duración aproximada de una hora.
- Para iniciar, le pediremos que conteste un pequeño cuestionario sobre su edad, su familia, su casa, su trabajo y su estado de salud, entre otras cosas. Podrá durar unos 15 minutos.
- Después, el personal del Laboratorio de Toxicología del Ministerio de Seguridad le tomará una muestra de sangre; ellos punzarán su brazo para poder tomar una pequeña muestra de sangre y medir los niveles de plomo que nos dejará saber si usted ha estado en contacto reciente con esta sustancia. La toma de esta muestra de sangre tomará más o menos 5 minutos.

- En los siguientes dos meses, la investigadora Rosirene Calvo se desplazará a los polígonos para medir la presencia de plomo en el aire. Para esto colocará una pequeña máquina sobre la pretina de su pantalón, la cual estará conectada por una manguera a un pequeño aparato que debe encontrarse lo más cerca posible de su nariz y boca. El aparato lo deberá usar durante toda su jornada laboral. Esta prueba nos indicará cuánto plomo está respirando usted durante la supervisión de las prácticas de tiro.
- Más o menos uno o dos meses después de la primera visita, lo volveremos a visitar en el DUE para tomar una segunda toma de muestra de sangre.

***¿Qué pasará luego con la información del cuestionario y las muestras de aire y sangre?***

- La información del cuestionario será guardada en una computadora, a la cual solamente los investigadores del estudio tendrán acceso. Sus datos personales (nombre, apellidos, dirección, número de teléfono) serán guardados en un archivo electrónico por aparte, que será guardado en otra computadora del Ministerio de Seguridad Pública. En el resto de los archivos, su nombre y apellido serán borrados y remplazados por un número. Todos los archivos tendrán una contraseña para proteger su contenido.
- Conforme se tomen las muestras de polvo en aire en los polígonos, éstas serán enviadas al Laboratorio de Higiene Analítica del Instituto Tecnológico de Costa Rica donde serán analizadas.
- Las muestras sangre serán enviadas al Laboratorio de Nefrología del Hospital San Juan de Dios para su análisis.
- “Todos remanentes de las muestras de sangre y de aire serán desechados al finalizar el estudio”.

***¿Cuáles son los beneficios de participar en este estudio?***

Usted no recibirá ninguna compensación económica por participar en este estudio. Sin embargo, su participación será de gran ayuda para conocer cómo es la exposición a plomo en su puesto de trabajo y poder identificar los principales factores que están influyendo en dicha exposición. Será un beneficio para usted conocer las concentraciones de plomo en sangre y en su ambiente de trabajo y poder prevenir futuras exposiciones.

***¿Existen riesgos en participar en el estudio?***

La toma de la muestra de sangre del dedo índice puede causarle cierto dolor o incomodidad. Sin embargo, el estudio no conlleva ningún riesgo para la salud de quienes acepten participar en el mismo.

***¿Qué pasa con la confidencialidad?***

Toda la información que usted nos dé, ya sea a través de los cuestionarios o de muestras de sangre o de aire, será tratada con estricta confidencialidad. Únicamente Rosirene Calvo, Ana María Mora, Martín Cohen y María Gabriela Rodríguez, tendrán acceso a los documentos que incluyan sus datos personales. No le daremos a nadie su información personal sin su permiso. Cuando se presenten los resultados generales del estudio, sus datos personales serán sustituidos por letras y números, para asegurar de que no puedan ser reconocidos.

***¿Qué sucederá si usted no quiere participar, o si más adelante decide no seguir participando?***

Su participación en este estudio es completamente voluntaria. Usted puede negarse a participar o dejar de participar en cualquier momento que lo desee. Si decidiera salirse del estudio, esto no le afectaría de ninguna manera.

***¿Qué pasará en el futuro?***

Cuando tengamos los resultados de las muestras de sangre y de aire, le entregaremos a usted sus resultados personales por escrito. Si usted está de acuerdo, estos resultados también serán incluidos en el expediente médico que usted mantiene en el Consultorio Médico del Ministerio de Seguridad Pública. Cuando estén listos los resultados generales del estudio, le entregaremos información sobre el contacto con plomo que encontramos en los agentes que supervisan pruebas de tiro. También informaremos al jefe de la Unidad Operativa de Armas y Explosivos y al jefe de la Unidad de Seguridad Privada de la Escuela Nacional de Policías sobre los resultados generales del estudio.

En caso de que usted presente valores fuera del rango aceptado, se le referirá al Instituto Nacional de Seguros para atención médica. Ellos podrán evaluar la situación y realizarle los exámenes adicionales que requieran para dar seguimiento a su caso.

***¿Qué pasa si tiene preguntas más adelante?***

Si tiene alguna duda o pregunta sobre este estudio, puede localizar a la investigadora Rosirene Calvo Garita, a los teléfonos 2586-4122 o 8868-0025, o a su correo electrónico: rcalvo@seguridadpublica.go.cr. Puede también visitar su oficina en la Sede del Ministerio de Seguridad Pública, Zapote, ubicada 150 metros norte de la Rotonda de las Garantías Sociales.

Si usted tiene alguna pregunta sobre sus derechos como participante de este estudio o sobre la manera en que ha sido tratada en este proyecto, puede ponerse en contacto con la secretaria del Comité Ético de la Universidad Nacional al teléfono: 2277-3515 o al correo electrónico: [cecuna@una.cr](mailto:cecuna@una.cr).

*¿Usted quiere participar en este estudio?*

**Sí**                       **No**

*¿Tenemos su autorización para hacerle algunas preguntas sobre usted mismo(a), su casa, su trabajo y algunos hábitos personales y de trabajo?*

**Sí**                       **No**

*¿Tenemos su autorización para tomar muestras del aire que usted respira mientras supervisa pruebas de tiro en los polígonos?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en darnos dos muestras de sangre, una al inicio del estudio y otra al final?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en que enviemos sus muestras de aire al Laboratorio de Higiene Analítica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser analizadas?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en que enviemos sus muestras de sangre al Laboratorio de Nefrología del Hospital San Juan de Dios para ser analizadas?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en que los resultados de los exámenes de sangre sean incorporados al expediente médico que usted mantiene en el Consultorio Médico del Ministerio de Seguridad Pública?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en que compartamos los resultados generales de este estudio con su jefatura directa?*

**Sí**                       **No**

*¿Usted está de acuerdo en que compartamos los datos que vamos a recolectar en este estudio con otros investigadores con quienes podríamos colaborar en el futuro, siempre y cuando no compartamos sus datos personales?*

**Sí**                       **No**

## CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO

**Título del estudio:** Exposición ocupacional a plomo en agentes policiales que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica

He leído la información sobre este estudio. He hablado con la investigadora y me ha contestado todas mis preguntas en un lenguaje comprensible para mí. Entiendo que mi participación es voluntaria y que tengo derecho a retirarme cuando así lo desee en cualquier momento, sin que esto me perjudique de ninguna manera. Participo voluntariamente en este estudio.

Para cualquier pregunta puedo llamar a la investigadora Rosirene Calvo Garita a los teléfonos 2586-4122 o 8868-0025, escribirle a su correo electrónico [rcalvo@seguridadpublica.go.cr](mailto:rcalvo@seguridadpublica.go.cr) o visitarla a su oficina en la Sede del Ministerio de Seguridad Pública, Zapote, ubicada 150 metros norte de la Rotonda de las Garantías Sociales..

He recibido una copia de este consentimiento para mi uso personal.

_____	_____	_____
Lugar	Fecha	Hora
_____	_____	_____
Nombre del/de la trabajador(a)	No. cédula o identificación	Firma del/de la trabajador(a)
_____	_____	_____
Nombre investigadora principal o co-investigadora	No. cédula	Firma investigadora principal o co-investigadora

\*\*\*\*\*

Soy testigo de que este formulario de consentimiento se le ha leído en voz alta al participante, él/ella ha expresado su comprensión del contenido y se le ha dado la oportunidad de hacer preguntas.

_____	_____	_____
Nombre del testigo	No. cédula	Firma del testigo





## A. INFORMACIÓN DEL TRABAJO ACTUAL

*Quisiera preguntarle sobre su trabajo. Las preguntas se refieren principalmente a lo que usted hace durante el trabajo y cómo lo hace.*

1. Organización o departamento para el que labora:
 

Dirección de Unidades Especializadas.....	1
Escuela Nacional de Policías.....	2
Otro .....	3
Especifique_____	
  
2. Tiempo de laborar en la empresa:   \_\_ \_\_ AÑOS \_\_ \_\_ MESES
  
3. Puesto que desempeña actualmente:
 

Agente I.....	1
Agente de AESP.....	2
Agente Armero.....	3
Agente Conductor .....	4
Agente de Operaciones.....	5
Otro .....	6
Especifique_____	
  
4. Tiempo de desempeñar este puesto:   \_\_ \_\_ AÑOS \_\_ \_\_ MESES
  
5. En promedio, ¿cuántas veces al mes realiza supervisión de prácticas en polígonos?
 

Nunca .....	0
1 vez al mes .....	1
2-3 veces al mes .....	2
1 vez por semana .....	3
2-3 veces por semana .....	4
4-5 veces por semana .....	5

SI "NUNCA" PASAR A LA PREGUNTA 6, SI SELECCIONÓ CUALQUIERA DE LAS DEMÁS OPCIONES:

a. En promedio ¿Cuántas pruebas aplica cada vez que visita un polígono?	10.....	1
	10-20 .....	2
	20-30 .....	3
	30-50 .....	4
	Más de 50 .....	5
  
6. ¿Usted recibió entrenamiento para la labor de supervisión en polígonos?
 

NO.....	0
SÍ.....	1

SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 7, SI "SÍ":

a. ¿Quién organizó este entrenamiento?	Dirección de Unidades Especializadas.....	1
	Escuela Nacional de Policías.....	2
	Otro .....	3
	Especifique_____	

	b. ¿Se le comunicaron los riesgos a los que estaría expuesto(a) durante la supervisión de pruebas prácticas de tiro?	NO ..... 0 SÍ ..... 1
7.	¿Usa algún tipo de equipo de protección personal cuando realiza supervisión de prácticas en polígonos?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 8, SI "SÍ":
	a. ¿Qué equipo de protección personal usa cuando realiza supervisión de prácticas?	Respirador ..... 1 Mascarilla ..... 2 Traje protector ..... 3 Tapones/Orejeras ..... 4 Gafas/Anteojos ..... 5 Otro ..... 6 Especifique _____
	[MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	
	b. ¿El equipo es propio o debe ser compartido con otros compañeros?	Propio ..... 0 Compartido ..... 1
8	¿Realiza usted la limpieza de las ÁREAS DE TIRO?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 9, SI "SÍ":
	a. ¿Cuáles de los siguientes materiales utiliza para la limpieza de las ÁREAS DE TIRO?	Trapo de tela ..... 1 Toalla de papel ..... 2 Toalla de microfibra ..... 3 Otro ..... 4 Especifique _____
	[MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	
	b. ¿Cuáles de los siguientes productos químicos utiliza para la limpieza de las ÁREAS DE TIRO?	Cloro ..... 1 Desinfectante ..... 2 Agua ..... 3 Otro ..... 4 Especifique _____
	[MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	
	c. ¿Utiliza algún tipo de equipo de protección personal cuando limpia las ÁREAS DE TIRO?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 9, SI "SÍ":
	d. ¿Qué equipo de protección personal usa cuando limpia las ÁREAS DE TIRO?	Respirador ..... 1 Mascarilla ..... 2 Traje protector ..... 3 Tapones/Orejeras ..... 4 Gafas/Anteojos ..... 5 Otro ..... 6 Especifique _____
	[MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	

9.	¿Realiza usted la limpieza de las ARMAS?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 9, SI "SÍ":
	a. ¿Cuáles de los siguientes materiales utiliza para la limpieza de las ARMAS?  [MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	Trapo de tela..... 1 Toalla de papel ..... 2 Toalla de microfibra ..... 3 Otro ..... 4 Especifique_____
	b. ¿Cuáles de los siguientes productos químicos utiliza para la limpieza de las ARMAS?  [MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	Cloro..... 1 Desinfectante..... 2 Agua ..... 3 Otro ..... 4 Especifique_____
	c. ¿Utiliza algún tipo de equipo de protección personal cuando limpia las ARMAS?	NO ..... 0 SÍ ..... 1  SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 10, SI "SÍ":
	d. ¿Qué equipo de protección personal usa cuando limpia las ARMAS?  [MARQUE TODOS LOS QUE CORRESPONDAN]	Respirador ..... 1 Mascarilla ..... 2 Traje protector ..... 3 Tapones/Orejeras..... 4 Gafas/Anteojos ..... 5 Otro ..... 6 Especifique_____
10.	¿Acostumbra consumir alimentos o bebidas dentro del polígono?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 11, SI "SÍ":
	a. ¿Dónde acostumbra consumirlos?	Área de tiro..... 1 Área de espera ..... 2 Área de aplicación de pruebas..... 3 Otro ..... 4 Especifique_____
11.	¿Acostumbra beber agua (incluyendo café o té) de fuentes del polígono?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 12, SI "SÍ":

	a. ¿Qué tan a menudo toma agua de fuentes del polígono?	Menos de 1 vez al mes ..... 1 1 vez al mes ..... 2 1 vez a la semana..... 3 1 vez al día ..... 4 Múltiples veces al día ..... 5
12.	¿Fuma usted en el polígono?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 13, SI "SÍ":
	a. ¿A dónde acostumbra hacerlo??	Área de tiro..... 1 Área de espera ..... 2 Área de aplicación de pruebas..... 3 Otro ..... 4 Especifique_____
	b. ¿Más o menos cuántos cigarrillos fuma usted por día en el polígono?	___ __ CIGARRILLOS/DÍA
13.	Después de supervisar las prácticas de tiro, ¿acostumbra hacer unos tiros de prueba?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 14, SI "SÍ":
	a. ¿Más o menos cuántos tiros acostumbra hacer?	5-10 ..... 1 10-20 ..... 2 20-30 ..... 3 Más de 50 ..... 4
	b. ¿Qué calibre acostumbra utilizar para estos tiros?	.22..... 1 .25..... 2 .45..... 3 9mm..... 4 Otro ..... 5 Especifique_____
14.	¿Acostumbra lavarse las manos en el polígono?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 15, SI "SÍ":
	a. ¿Con qué frecuencia lo hace?	Nunca lo hace ..... 0 Al final de cada ronda de tiros..... 1 A la mitad de las prácticas..... 2 Al final de todas las prácticas..... 3 Al inicio y al final de las prácticas ..... 4 Otro ..... 5 Especifique_____

- b. ¿Qué productos utiliza?
- Ninguno (además de agua) ..... 0  
 Jabón ..... 1  
 Crema ..... 2  
 Alcohol ..... 3  
 Otro ..... 4  
 Especifique \_\_\_\_\_
15. Después de un día de trabajo en polígonos de tiro, ¿lleva usted su uniforme a la casa para lavarlo?
- NO ..... 0  
 SÍ ..... 1  
 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 16, SI "SÍ":
- a. ¿Lava su ropa con la ropa de otros familiares?
- NO ..... 0  
 SÍ ..... 1  
 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 16, SI "SÍ":
- b. ¿Se mezcla su ropa con la ropa de niños?
- NO ..... 0  
 SÍ ..... 1  
 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 16, SI "SÍ":
- c. ¿Quién se encarga de lavar su ropa?
- Usted mismo ..... 1  
 Su cónyuge/pareja ..... 2  
 Su madre/padre ..... 3  
 Hijo(a) ..... 4  
 Persona de servicio ..... 5  
 Otro ..... 6  
 Especifique \_\_\_\_\_

## B. HISTORIA LABORAL

*Quisiera preguntarle sobre sus trabajos anteriores. Las preguntas van orientadas al tipo de trabajos que realizó y por cuánto tiempo lo realizó.*

16. Antes de que usted empezara con su trabajo actual, ¿ocupó algún otro puesto en la Fuerza Pública?
- NO ..... 0  
 SÍ ..... 1  
 SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 17, SI "SÍ":
- a. ¿Cuál fue el puesto que usted ocupó?
- Armero ..... 1  
 Oficial de guardia ..... 2  
 Arsenal (cualquier puesto) ..... 3  
 Instructor de tiro ..... 4  
 Persona de servicio ..... 5  
 Otro ..... 6  
 Especifique \_\_\_\_\_
- b. ¿Cuándo empezó a trabajar en este puesto?
- \_\_\_ / \_\_\_  
 MES AÑO

- c. ¿Cuándo terminó de trabajar en este puesto en la Fuerza Pública?     \_\_\_ / \_\_\_  
MES    AÑO
17. Aparte de su trabajo en la Fuerza Pública, ¿ha tenido algún otro trabajo en el que haya tenido contacto con armas, balas y/o polígonos de tiro?
- NO ..... 0  
SÍ ..... 1
- SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 18, SI "SÍ":
- a. ¿Cuál fue el puesto que usted ocupó?
- Instructor de Tiro ..... 1  
Armero..... 2  
Supervisor de Polígono..... 3  
Otro..... 4  
Especifique \_\_\_\_\_
- b. ¿Dónde desempeño este puesto?
- Poder Judicial ..... 1  
Policía Municipal..... 2  
Seguridad Privada..... 3  
Otro..... 4  
Especifique \_\_\_\_\_
- c. ¿Cuándo empezó a trabajar en este puesto?     \_\_\_ / \_\_\_  
MES    AÑO
- d. ¿Cuándo terminó de trabajar en este puesto?     \_\_\_ / \_\_\_  
MES    AÑO

18. Ahora quisiera preguntarle sobre todos los trabajos que haya realizado en **LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS**, dentro o fuera de la Fuerza Pública, durante más un mes consecutivo. Los trabajos pueden ser dentro de casa o fuera de casa, a tiempo total o parcial, remunerados o no, incluyendo el trabajo por cuenta propia. **Por favor empiece por el trabajo que tuvo antes de su puesto en la Fuerza Pública.**

Industria/Sector	SI	NO	Mes y año de inicio	Mes y año en que terminó
a) Manufactura de baterías				
b) Reciclaje de baterías				
c) Soldadura a base de plomo				
d) Industria de hierro/acero				
e) Fundición de plomo				
f) Reparación de radiadores				
g) Industria de plásticos				
h) Industria de caucho (recauchadoras)				
i) Reciclaje de metales				
j) Industrias de alfarería y cerámica				
k) Manufactura de municiones				
l) Demoliciones de estructuras				
m) Gasolineras				
n) Otro trabajo que involucre la manipulación de plomo que no se mencionó anteriormente (describa el tipo de trabajo)				

19. Ahora quisiera preguntarle sobre algunas actividades que haya realizado en **EL ÚLTIMO AÑO**, como actividad extra laboral, como pasatiempo y la frecuencia con que acostumbra/acostumbraba hacerlo.

Actividad	SI	NO	Frecuencia por mes			
			1	2-3	3-5	+ 5
a) Tiro por deporte						
b) Relleno de balas						
c) Remodelación de la casa o algún edificio						
d) Quema de madera <b>pintada</b>						
e) Mantenimiento de su carro (usted mismo)						
f) Pintura de su vehículo (por su propia cuenta)						
g) Caza de animales						



### C. HISTORIAL MÉDICO

*Quisiera preguntarle sobre su estado de salud en los ÚLTIMOS 12 MESES.*

20. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha notado que ha perdido peso? NO..... 0  
SÍ..... 1  
SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 21, SI "SÍ":
- a. ¿Más o menos cuántos kilos piensa que ha perdido en los **ÚLTIMOS 12 MESES**? \_\_\_ KILOS PERDIDOS
21. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha sentido que ha perdido el apetito? NO..... 0  
SÍ..... 1
22. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha tenido cansancio extremo al final del día de trabajo? NO..... 0  
SÍ..... 1  
SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 23, SI "SÍ":
- a. ¿Qué tan seguido se siente así? 1 vez al mes..... 1  
1 vez por semana..... 2  
2-3 veces por semana..... 3  
Todos los días..... 4
23. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha tenido problemas para dormir? NO..... 0  
SÍ..... 1
24. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha tenido alguna vez un sabor como a metal en su boca? NO..... 0  
SÍ..... 1
25. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha sentido que está mal humor más de lo normal? NO..... 0  
SÍ..... 1
26. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha tenido dolores de cabeza más de lo normal? NO..... 0  
SÍ..... 1  
SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 27, SI "SÍ":
- a. ¿Qué tan frecuentes son estos dolores de cabeza? 1 vez al mes..... 1  
1 vez por semana..... 2  
2-3 veces por semana..... 3  
Todos los días..... 4
- b. De 1 a 5, siendo 1 muy leve y 5 muy fuerte, ¿cómo diría usted que es la intensidad de estos dolores? \_\_\_ INTENSIDAD DEL DOLOR
27. En los **ÚLTIMOS 12 MESES**, ¿ha tenido algún problema de digestión (diarrea o estreñimiento)? NO..... 0  
SÍ..... 1  
Especifique\_\_\_\_\_

28. En los ÚLTIMOS 12 MESES, ¿ha tenido problemas para concentrarse en el trabajo? NO..... 0  
SÍ..... 1

LOS HOMBRES PASAR DIRECTAMENTE A LA PREGUNTA 31.

29. En los ÚLTIMOS 12 MESES, ¿ha tenido desordenes en su ciclo menstrual? NO..... 0  
SÍ..... 1

30. En los ÚLTIMOS 12 MESES, ¿ha tenido problemas para oír? NO..... 0  
SÍ..... 1

31. Ahora quisiera preguntarle sobre algunas enfermedades que algún médico le haya podido diagnosticar en los ÚLTIMOS 5 AÑOS.

Enfermedad	SI	NO	Tratamiento	
			SI	NO
a. Presión alta				
b. Problemas de riñón				
c. Anemia				
d. Problemas del corazón				
e. Asma				
f. Enfisema				
g. Bronquitis				
h. Gota				
i. Artritis				
j. Depresión				
k. Problemas de fertilidad				

#### D. OTROS DATOS

*Por último, quisiera preguntarle algunos datos importantes sobre impactos de bala.*

32. ¿Alguna vez le han disparado? NO..... 0  
SÍ..... 1

SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 34, SI "SÍ":

- a. ¿Hace cuánto le dispararon? \_\_\_ (DÍAS/MESES/AÑOS)

- b. ¿Tiene la bala adentro de su cuerpo? NO..... 0  
SÍ..... 1

33. ¿Tiene un arma de fuego propia? NO..... 0  
SÍ..... 1

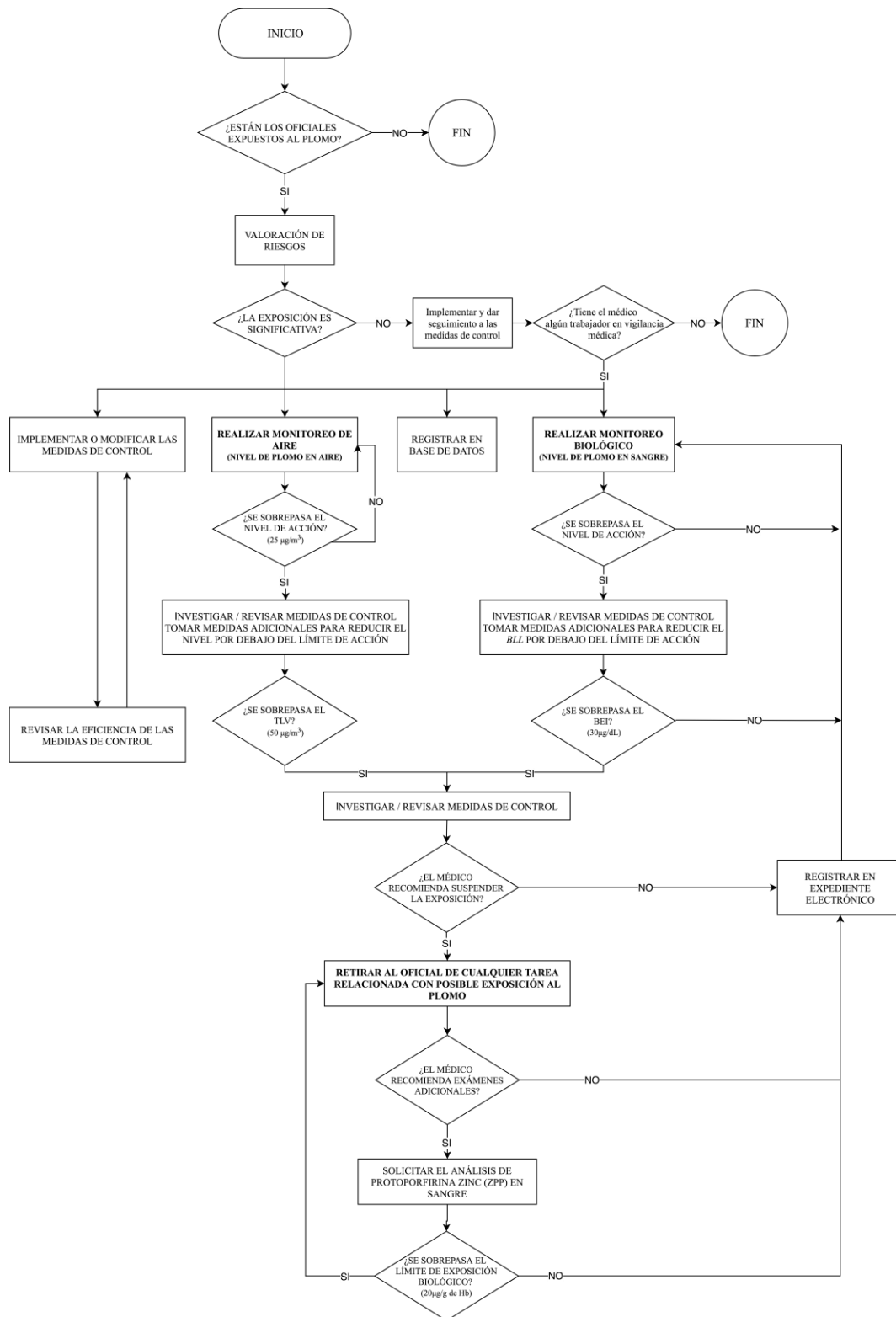
SI "NO" PASAR A LA PREGUNTA 35, SI "SÍ":

a.	¿Dónde guarda su arma cuando no la está usando?	Casa de habitación..... 1 Trabajo ..... 2 Otro lugar ..... 3 Especifique _____
b.	¿Realiza usted mismo la limpieza y mantenimiento de su arma?	NO ..... 0 SÍ ..... 1
34.	¿El Ministerio de Seguridad Pública lo manda a polígonos de tiro para que usted practique técnica de tiro?	NO ..... 0 SÍ ..... 1 SI "NO" PASAR A LA P6, SI "SÍ":
a.	¿Qué tan a menudo lo mandan a practicar?	Cada 3 meses..... 1 Cada 6 meses..... 2 1 vez al año..... 3 Cada 2 o más años..... 4
b.	Durante estas prácticas, ¿más o menos cuánto tiempo permanece en el polígono?	30 minutos ..... 1 1 hora..... 2 2 horas ..... 3 Más de 2 horas..... 4
c.	En promedio, ¿cuántos tiros realiza durante estas prácticas?	20-30 ..... 1 30-50 ..... 2 50-100 ..... 3 Más de 100 ..... 4

**P6.** Hora de finalización de la entrevista:      \_\_\_ \_\_\_ : \_\_\_ \_\_\_ **AM/PM**

**P7.** Duración de la entrevista:                   \_\_\_ \_\_\_ : \_\_\_ \_\_\_

**APÉNDICE 3.** Procedimiento de evaluación de riesgos en polígonos de tiro.



BEI: Índice de exposición biológico

TLV: Valor límite umbral

BLL: Nivel de plomo en sangre

## ANEXOS

**ANEXO 1.** Signos y síntomas de la intoxicación crónica por plomo asociados a exposición ocupacional, por aparatos y sistemas.

<i>Sistema</i>	<i>Signos y síntomas</i>
Nervioso central	Fatiga
	Irritabilidad
	Cefalea
	Tremor
	Encefalopatía (convulsión, coma)
Nervioso periférico	Neuropatía periférica predominantemente motora (parálisis radial, tibial, ciática)
Gastrointestinal	Anorexia
	Vómitos
	Constipación
	Indigestión
	Pérdida de peso
	Dolor abdominal, cólico plúmbico
Hematológico	Anemia
Renal	Insuficiencia renal crónica
	Proteinuria
	Oliguria
Reumatológico	Gota
	Artritis
	Mialgias
	Artralgia
	Parestesia
Cardiovascular	Hipertensión arterial
Reproductivo	Oligospermia
	Impotencia
	Pérdida del líbido
	Malformaciones congénitas
Otros	Letargia

Tomado de: (Han et al., 2018; Mason et al., 2014; Popovic et al., 2005; Queiroz & Waissmann, 2006; Rastogi, 2008; Sheiner et al., 2003; Wani & Usmani, 2016).

**ANEXO 2. Acuerdo UNA-CECUNA-ACUE-042-2017.**



12 de enero de 2018  
**UNA-CECUNA-ACUE-42-2017**

**Lic. Rosirene Calvo Garita**  
**Estudiante**  
**Maestría en Salud Ocupacional con mención en Higiene Ambiental**  
**IRET**

Estimada estudiante:

Para su información y para los efectos consiguientes, me permito enviarle la transcripción del acuerdo firme 41-2017 tomado por los miembros del COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL (CECUNA) en su sesión ordinaria N° 12-2017 artículo IV, celebrada el 6 de diciembre de 2017, que la letra dice:

**Considerando que:**

1. La estudiante de la Maestría en Salud Ocupacional con mención en Higiene Ambiental del IRET, Rosirene Calvo, el 5 de diciembre del 2017 realizó la entrega de un nuevo formato del protocolo "*Exposición ocupacional a plomo en agentes policiales que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica*".
2. El CECUNA mediante el acuerdo UNA-CECUNA-ACUE-021-2017, de la sesión ordinaria N° 09-2017 celebrada el 4 de setiembre de 2017 no aprobó el protocolo "*Exposición ocupacional a plomo en agentes policiales que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica*", en el formato actual, además, mediante oficio UNA-CECUNA-OFIC-098-2017, se envió el detalla los cambios solicitados al protocolo.
3. El Comité Ético analizó que todos los cambios fueron realizados satisfactoriamente se aprueba el protocolo "*Exposición ocupacional a plomo en agentes policiales que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica*", CECUNA-2017-P006.

Tel. (506) 2277-3000  
Apartado 86-3000  
Heredia  
Costa Rica  
www.una.ac.cr

4. El estudio se justifica debido a la necesidad de conocer los niveles personales y ambientales de exposición al plomo en agentes policiales quienes realizan inspecciones en polígonos y potencialmente generar cambios en políticas públicas nacionales.
5. El protocolo cumple con los principios éticos estipulados en la Ley 9234. Además, esta investigación representa solo un leve riesgo para la salud de las personas participantes y el conocimiento será un beneficio para conocer las concentraciones de plomo en sangre y en su ambiente de trabajo y poder prevenir futuras exposiciones.
6. El protocolo expresa con claridad y precisión el plan de investigación y lo que se espera realizar.
7. El contenido es lo suficientemente detallado y completo.
8. Es redactado de manera que su contenido sea entendido por los evaluadores del proyecto, así como por las(os) investigadoras(es) y técnicos involucradas(os) en la ejecución.

SE ACUERDA:

1. APROBAR EL PROTOCOLO *"EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A PLOMO EN AGENTES POLICIALES QUE SUPERVISAN PRUEBAS PRÁCTICAS EN POLÍGONOS DE TIRO EN COSTA RICA"* CECUNA-2017-P006, PRESENTADO POR LA ESTUDIANTE LUIS ROSIRENE CALVO.
2. INFORMAR A LA ESTUDIANTE ROSIRENE CALVO QUE EL PROTOCOLO *EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A PLOMO EN AGENTES POLICIALES QUE SUPERVISAN PRUEBAS PRÁCTICAS EN POLÍGONOS DE TIRO EN COSTA RICA"* CECUNA-2017-P006, SE APRUEBA SIN MODIFICACIONES.
3. ESTABLECER EL PERIODO DE VIGENCIA DEL PROTOCOLO DEL 15 DE FEBRERO DEL 2018 AL 30 DE SETIEMBRE 2018.

4. SI FUERA NECESARIO PEDIR UNA AMPLIACIÓN, EL INVESTIGADOR DEBE SOLICITARLA AL CECUNA CON UN MÍNIMO DE TRES MESES ANTES DE SU FECHA FINAL.
5. INFORMARLE A LA INVESTIGADOR PRINCIPAL QUE DEBE SOLICITAR LA EXENCIÓN DEL PAGO DEL CANON ANTE EL CONIS, SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DEL CONIS EN EL SIGUIENTE SITIO-WEB: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/consejos/conis>, Y QUE POSTERIORMENTE DEBE ENTREGAR LA RESPUESTA DEL CONIS AL CECUNA.
6. INFORMARLE A LA INVESTIGADOR PRINCIPAL QUE EL CECUNA NO PODRÁ SOLICITAR LA INSCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO ANTE EL CONIS SIN LA APROBACIÓN DE LA EXENCIÓN DEL PAGO DEL CANÓN POR PARTE DEL MISMO ENTE.
7. SEGÚN INDICADO POR EL CONIS, LA SOLICITUD DE REGISTRO DEL PROTOCOLO POR PARTE DEL UN CEC DEBE ESTAR EN LA RECEPCIÓN DE LA SECRETARÍA TÉCNICA EJECUTIVA (SETE), AL MENOS OCHO DÍAS HÁBILES ANTES DEL INICIO DE LA INVESTIGACIÓN.
8. EL CECUNA ESTARÁ INFORMANDO A LA INVESTIGADORA PRINCIPAL UNA VEZ QUE LA SOLICITUD DE INSCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO HAYA SIDO RECIBIDO POR PARTE DEL CONIS.
9. INFORMARLE A LA INVESTIGADORA PRINCIPAL QUE DE ACUERDO A LA LEY 9234 Y SU RESPECTIVO REGLAMENTO SÓLO SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO AUTORIZADO, FOLIADO, FIRMADO Y SELLADO POR EL CECUNA, ADEMÁS DEBERÁ SER FIRMADO EN TODAS SUS HOJAS Y SE DEBE ADJUNTAR COPIA DEL DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN DE LA PERSONA QUE FIRMA EL CONSENTIMIENTO INFORMADO, LOS PARTICIPANTES DEBEN FIRMAR CADA






HOJA DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO, SEGÚN  
INDICADO EN EL DECRETO NO.39061-S DE LA LEY  
REGULADORA DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA NO.9234.

10. ACUERDO FIRME Y UNÁNIME No. 42-2017.

Atentamente,

  
Ph.D. Berna van Wendel de Joode  
Presidenta  
CECUNA



Para la información y para los efectos correspondientes, me permito enviar la transcripción del acuerdo firmado el 4 de diciembre de 2017 suscrito por los miembros del COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL (CECUNA) en su sesión ordinaria N° 12-2017 artículo IV, celebrada el 6 de diciembre de 2017, que la letra dice:

Considerando que:

1. La comisión de la Maestría en Salud Ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental del IIAF, Sotomayor Calvo, el 5 de diciembre del 2017 realizó la entrega de un nuevo formato del protocolo "Exposición ocupacional a plomo en agentes particulares que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica".
2. El CECUNA mediante el acuerdo UNA-CECUNA-ACUE-42-2017, de la sesión ordinaria N° 09-2017 celebrada el 4 de noviembre de 2017 no aprobó el protocolo "Exposición ocupacional a plomo en agentes particulares que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica", en el formato actual, además, mediante acuerdo UNA-CECUNA-OPIC-098-2017, se envió el detalle los cambios solicitados al protocolo.
3. El Comité Ético analizó que todos los cambios fueron ratificados satisfactoriamente se aprobó el protocolo "Exposición ocupacional a plomo en agentes particulares que supervisan pruebas prácticas en polígonos de tiro en Costa Rica", CECUNA-2017-1066.

el. (506) 2277-3000  
partado 86-3000  
Heredia  
Costa Rica  
www.una.ac.cr

**ANEXO 3.** Concentraciones de plomo en aire reportadas por estudios de exposición al plomo en polígonos de tiro realizados en los Estados Unidos.

<b>Estudio</b>	<b>Personal en estudio</b>	<b>Tipo de polígono</b>	<b>Concentraciones de plomo en aire (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
Fischbein et al. (1979)	Oficiales	Cerrado	45-900 (con un valor pico de 3,750)
Muskett and Caswell (1980)	Trabajadores del polígono	Cerrado	55-113
Novotny et al. (1987)	Trabajadores del polígono	Cerrado	2.7-90.5
Valway et al. (1989)	Oficiales	Cerrado y abierto	2,000 (exposición corta) 304
Goldberg et al. (1991)	Oficiales	Cerrado y abierto	460-510 (munición con plomo, 3 horas de exposición) 100-170 (munición libre de plomo, 3 horas de exposición)
Bonanno et al. (2002)	---	Abierto	286 (verano) 579 (verano) 235 (invierno) 1,158 (invierno)
Mancuso et al. (2008)	Oficiales tiradores	Cerrado	980-1,900
		Cerrado	60-220
		Abierto	100-230
Chen and Brueck (2011)	Instructores	Abierto	n.d.-15
Ramsey and Niemeier (2011)	Trabajadores del polígono y tiradores	Cerrado	n.d.-96 (instructor) 42-340 (tirador) 3,200 (personal de mantenimiento)
Scott et al. (2005)	Oficiales	Cerrado	26-287
Betancourt (2012)	Oficiales	Abierto	48
Scott et al. (2012)	Oficiales	Cerrado	60-3,200 (exposición corta) 20.6-2,897
Ramsey et al. (2013)	Trabajadores del polígono y tiradores	Cerrado	0.15-3.8 (instructor) 1.5-9.0 (tirador) n.d.-330 (personal de mantenimiento)
Brueck et al. (2014)	Oficiales	Cerrado	n.d.-26 (exposición corta)
CDC (2014)	Trabajadores del polígono	Cerrado	5.5-19 (trabajador del polígono) 54-64 (labores de limpieza)

Abreviaturas: n.d., no detectado. Tomado de: Laidlaw et al., 2017.

#### ANEXO 4. Recomendaciones de vigilancia médica para trabajadores expuestos al plomo.

<b>Nivel de exposición</b>	<b>Recomendaciones</b>
Todos los trabajadores expuestos	<ul style="list-style-type: none"><li>- Historial médico inicial y previo al inicio de la labor con posible exposición a plomo.</li><li>- Examen físico.</li><li>- Nivel de plomo en sangre de referencia</li><li>- Nivel de creatinina sérica de referencia.</li></ul>
BLL <5 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"><li>- Monitoreo mensual de niveles de plomo en sangre los primeros 3 meses. Luego el monitoreo deberá ser semestral.</li><li>- Si el nivel de plomo en sangre aumenta <math>\geq 5</math> µg/dL, evalúe la exposición y las medidas de protección, y considere la implementación de medidas adicionales.</li></ul>
BLL 5-9 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"><li>- Valorar los riesgos a la salud.</li><li>- Disminuir la exposición.</li><li>- Considere retirar de la exposición a mujeres embarazadas y personal que presente condiciones médicas especiales.</li><li>- Monitoreo mensual de niveles de plomo en sangre los primeros 3 meses o cada 2 meses los primeros 6 meses. Luego el monitoreo deberá ser semestral.</li><li>- Si el nivel de plomo en sangre aumenta <math>\geq 5</math> µg/dL, evalúe la exposición y las medidas de protección, y considere la implementación de medidas adicionales.</li></ul>
BLL 10-19 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"><li>- Valorar los riesgos a la salud.</li><li>- Disminuir la exposición.</li><li>- Retirar de la exposición a mujeres embarazadas.</li><li>- Considerar retirar de la exposición si el trabajador presenta valores de plomo en sangre <math>&gt;10</math> µg/dL durante un período prolongado.</li><li>- Monitoreo de plomo en sangre cada 3 meses.</li><li>- Evaluar la exposición, los controles ingenieriles y las prácticas de trabajo.</li><li>- El monitoreo de plomo en sangre podrá ser semestral una vez que se obtengan 3 mediciones repetidas <math>&lt;10</math> µg/dL.</li></ul>
BLL 20-29 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"><li>- Retirar de la exposición a mujeres embarazadas.</li><li>- Retirar de la exposición si las concentraciones de plomo en sangre (medidas 4 semanas consecutivas) permanecen <math>\geq 20</math> µg/dL.</li><li>- Cheque médico anual.</li><li>- Monitoreo mensual de niveles de plomo en sangre.</li><li>- Se puede considerar la reincorporación del trabajador después de que se pruebe al menos 2 veces que el nivel de plomo en sangre es menor a 15 µg/dL.</li></ul>

BLL 30-49 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar de la exposición.</li> <li>- Evaluación médica inmediata.</li> <li>- Monitoreo mensual de plomo en sangre.</li> <li>- Se puede considerar la reincorporación del trabajador después de que se pruebe al menos 2 veces que el nivel de plomo en sangre es &lt;15 µg/dL.</li> </ul>
BLL 50-79 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar de la exposición.</li> <li>- Evaluación médica inmediata.</li> <li>- Se podría recomendar la terapia de quelación si se identifican ciertos síntomas.</li> </ul>
BLL ≥ 80 µg/dL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retirar de la exposición inmediatamente.</li> <li>- Evaluación médica de urgencia.</li> <li>- Se podría recomendar la terapia de quelación.</li> </ul>

*Abreviaturas:* BLL, nivel de plomo en sangre (por sus siglas en inglés).

Adaptado de: (Kosnett et al., 2007)