



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN
AMBIENTES LABORALES, CROMO TOTAL EN
ORINA Y ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO
PARA LA SALUD DE ACUERDO CON LAS
CONDICIONES DE EXPOSICIÓN DE
TRABAJADORES DE EMPRESAS CROMADORAS
DE BOGOTÁ. 2018.**

Derly Johanna Páez Bahamón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología
Bogotá, Colombia
2019

DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AMBIENTES LABORALES, CROMO TOTAL EN ORINA Y ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO PARA LA SALUD DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN DE TRABAJADORES DE EMPRESAS CROMADORAS DE BOGOTÁ. 2018.

Derly Johanna Páez Bahamón

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Toxicología

Directora:

Diana Carolina Chaves Silva

Química, Magister en Toxicología

Codirectora:

Alba Isabel Rodríguez Pulido

Médica, Especialista en Salud Ocupacional, Magister en Toxicología Clínica

Grupo de Investigación:

Toxicología Ambiental y Ocupacional "TOXICAO"

Línea de Investigación:

Toxicología de los metales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología

Bogotá, Colombia

2019

A Isa, porque a pesar de no comprender el sacrificio, esperó paciente a que su mamá hiciera realidad un sueño.

Agradecimientos

A Dios por premiarme con esta maravillosa experiencia.

A mi directora de tesis, Q., MSc Diana Carolina Chaves Silva, por su apoyo, enseñanzas y paciencia.

A mi codirectora, MSc. Alba Isabel Rodríguez Pulido por su colaboración, enseñanzas y orientación.

Al el Dr. Edgar Prieto por su orientación en el análisis estadístico y descriptivo, además de la metodología del estudio.

Al laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional liderado por MSc Diana Carolina Chaves Silva y su profesional Edgar Castro.

A la Ingeniera Sonia Agudelo del Laboratorio de higiene & toxicología industrial de la ARL Positiva por su orientación y apoyo con materiales para el muestreo en aire.

A la ingeniera Ana Milena Gómez Referente de la línea de seguridad química de la Secretaría Distrital de Salud por el suministro del censo de las empresas y su apoyo incondicional.

A mi familia, por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional en todos los aspectos.

Resumen

Las características toxicológicas del cromo se deben a su estado de oxidación, y en su gran medida a los procesos industriales en donde es utilizado. Dentro de estas industrias el recubrimiento electrolítico con cromo es la que presenta mayor exposición dadas las características de tipo técnico y social con las que se desarrolla la actividad.

La investigación que se presenta en este texto, se centró en la búsqueda de las empresas de recubrimientos electrolíticos de cromo con el fin de identificar el nivel de riesgo de los trabajadores que se desempeñan como cromadores debido a las condiciones particulares de exposición laboral que presentan.

Se realizó un estudio descriptivo de las variables que intervinieron, en donde se analizaron las estimaciones cualitativas del riesgo de inhalación y contacto dérmico, así como los resultados de las evaluaciones cuantitativas de cromo en aire y cromo total en orina con respecto a la información de tipo sociodemográfico, hábitos de vida y dieta alimentaria de cada trabajador.

Se inició con una caracterización cualitativa del riesgo potencial por inhalación y por contacto dérmico según lo establecido en la metodología NTP 897 y 937 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, Antiguo Instituto Nacional de Seguridad y Salud en Trabajo INSST la cual arrojó “*riesgo probablemente muy elevado*”, valor que supera 150 veces el mayor valor asignado al riesgo por parte de la metodología.

Para la medición de la concentración de cromo hexavalente se utilizó el método NIOSH 7600 validado para los requerimientos del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional sede Bogotá, en donde se encontró que la totalidad de las empresas que participaron en el estudio superan los Valores de TLV-TWA® establecidos por la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) y adoptados por Colombia.

También se midió la concentración de cromo total en orina en los trabajadores expuestos de las cromadoras en donde se obtuvo para seis empresas, un valor tres veces superior con respecto al BEI® establecido para el cromo total en orina según la ACGIH y solo una que los supera dos veces.

Palabras clave: Galvanoplastia, cromo, orina, técnicas de química analítica, toxicología.

Abstract

The Chromium toxicological characteristics are due to the oxidation state and in a big part of the industrial processes where the chromium is used, such as the electrolytic chromium coating where the exposition in humans is bigger because the technician and social developing conditions.

The research presented in this text, focused on the search of chromium electrolytic coatings companies in order to identify the level of risk of workers who work as chromators due to the particular conditions of occupational exposure they present.

A descriptive study of the variables that intervened was carried out, where the qualitative estimates of the risk of inhalation and dermal contact were analyzed, as well as the results of the quantitative evaluations of chromium in air and total chromium in urine with respect to type information. sociodemographic, life habits and diet of each worker.

It began with a qualitative characterization of the potential risk by inhalation and dermal contact as established in methodology NTP 897 and 937 of the National Institute of Safety and Hygiene at Work of Spain, Former National Institute of Safety and Health at Work INSST which it showed "probably very high risk", a value that exceeds 150 times the highest value assigned to risk by the methodology.

For the hexavalent chromium concentration it was used the NIOSH method 7600 validated by the requirements for the toxicological laboratory of the National University in Bogota campus. In the researched were found all participated companies have an excess on the values of TLV-TWA® established by ACGIH (American Conference of governmental Industrial Hygienists) and adopted by the government of Colombia.

Additionally, the total hexavalent chromium concentration on urine was read on the exposed workers where were identified as two of the seven workers have an excess on the established level of biological monitoring BEI® according to ACGIH's hexavalent chromium values.

Key words: Electroplating, chromium, urine, analytical chemistry techniques, toxicology.

Contenido

Resumen.....	IX
Listado de figuras.....	XIII
Listado de tablas.....	XVI
Listado de símbolos y abreviaciones.....	XVII
Introducción.....	1
1. Justificación.....	23
2. Objetivos	25
2.1 Objetivo general.....	25
2.2 Objetivos específicos.....	25
3. Marco teórico	27
3.1 Recubrimiento electrolítico con cromo.....	27
3.2 Aspectos toxicológicos del cromo CAS 7440-47-3.....	31
3.2.1 Toxicocinética	32
3.2.2 Toxicodinamia.....	34
3.2.3 Enfermedades relacionadas con el cromo hexavalente	35
3.3 Metodologías espectro químicas de medición de cromo.....	37
3.3.1 Métodos espectroquímicos	37
3.3.2 Espectrofotometría de absorción atómica	38
3.3.3 Espectrofotometría de Ultravioleta Visible UV-Vis.....	40
3.4 Evaluación de la exposición laboral.....	41
3.4.1 Evaluación cualitativa	43
3.4.2 Evaluación cuantitativa	55
3.4.3 Evaluación en el individuo	58
4. Metodología.....	61
4.1 Selección de la muestra	62
4.2 Objetivo 1. Evaluación cualitativa del riesgo potencial	66
4.2.1 Riesgo potencial por inhalación	66
4.2.2 Riesgo potencial por contacto dérmico.....	67
4.3 Objetivo 2. Medición de cromo hexavalente en ambientes laborales.....	68
4.3.1 Muestreo de cromo hexavalente en aire.....	68
4.3.2 Medición de concentración de cromo hexavalente en aire	76
4.4 Objetivo 3. Medición de cromo total en orina en trabajadores expuestos	79
4.4.1 Recolección de muestra de orina. (42)	79
4.4.2 Medición de la concentración de cromo Total en orina.	81
4.5 Objetivo 4. Descripción de resultados	84
4.6 Consideraciones éticas.....	87

4.7 Propiedad intelectual	88
4.8 Declaración de conflicto de interés	88
5. Resultados y discusión	91
5.1 Resultados	91
5.1.1 Caracterización de la exposición	91
5.1.2 Medición de cromo hexavalente en ambientes laborales	102
5.1.3 Medición de cromo total en orina de cromadores	105
5.2 Discusión	109
5.2.1 Limitaciones del estudio	109
5.2.2 Comparación de la exposición vs Medición de cromo hexavalente en aire..	110
5.2.3 Comparación de la exposición vs concentración de cromo Total en orina ...	112
6. Conclusiones y recomendaciones	117
6.1 Conclusiones	117
6.2 Recomendaciones	119
A. Anexo: Solicitud de censo de empresas cromadoras de Bogotá a la Secretaría	
Distrital de Salud.....	105
B. Anexo: Invitación a las empresas.....	106
C. Anexo: Consentimiento informado.....	107
D. Anexo: Encuesta a trabajadores.....	108
E. Anexo: Entrega de resultados.....	110
F. Anexo: Aval comité de ética.....	112
Bibliografía.....	113

Lista de figuras

Figura 3-1. Componentes de un recubrimiento electrolítico	27
Figura 3-2. Diagrama de procesos para el cromado de piezas metálicas	28
Figura 3-3. (3.a) Pulido con esmeril. (3.b) Amarre de piezas	29
Figura 3-4. (4.a) Desengrase de piezas pulidas. (4.b) Decapado de la pieza luego del desengrase	30
Figura 3-5. (5.a) Niquelado electrolítico de las piezas metálicas. (5.b) Enjuague de Níquel.....	30
Figura 3-6. (6.a) Cromado electrolítico de las piezas metálicas. (6.b) Enjuague de cromo.....	31
Figura 3-7. Metabolismo de Cr+6 vs Cr+3.....	34
Figura 3-8. Intensidad de Luz absorbida por analito.....	37
Figura 3-9. (9.a) Lámpara de cátodo hueco de Cr. (9.b) Tubo de grafito.....	39
Figura 3-10. Estructura básica y funcionamiento de un espectrofotómetro UV-Vis.....	41
Figura 3-11. Esquema para la evaluación simplificada del riesgo por inhalación INRS.....	44
Figura 3-12. Clase de pulverulencia y volatilidad.....	48
Figura 3-13. Factores a considerar para mediciones de contaminantes en aire.....	55
Figura 4-1. Esquema de evaluación de riesgo potencial por contacto dérmico.....	67
Figura 4-2. Elección de tipos de cabezales para medición de tipos de agregados moleculares.....	68
Figura 4-3. Bomba de muestreo personal marca Gillian.....	69
Figura 4-4. Calibrador digital TSI 4100 Series.....	69
Figura 4-5. Cassettes de poliestireno.....	70
Figura 4-6. Filtros y Portafiltros.....	70
Figura 4-7. Calibración de bomba.....	72
Figura 4-8. Montaje de la unidad de captación.....	73
Figura 4-9. Montaje de unidad de captación.....	74
Figura 4-10 Toma de muestras con cassettes. (10.a) Ajuste de Bomba. (10.b) Ajuste de cassettes en zona de respiración.....	74
Figura 4-11. Bolsas de cierre hermético para transporte de filtros de muestreo de aire.....	75
Figura 4-12. (12.a). Codificación de muestras para recepción en el Laboratorio. (12.b). Codificación de muestras para la investigación.....	75
Figura 4-13. Recolección de muestras de orina.....	79

Figura 4-14. (14.a). Nevera para recolección y transporte de muestras rotulada. (14.b). Pilas de gel refrigerante.	80
Figura 4-15. (15.a). Codificación de muestras para recepción en el Laboratorio. (15.b). Codificación de muestras para la investigación.	81
Figura 4-16. Lavado de material para determinación de cromo total en orina por espectrofotometría de absorción atómica Horno de grafito EAA-HG.	83
Figura 4-17. Esquema de preparación solución intermedia 1.	83
Figura 4-18. Esquema de preparación solución intermedia 2.	84
Figura 5-1. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría rectangular para las empresas 2, 3, 6 y 7.	92
Figura 5-2. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría cilíndrica. (2.a) empresa 1. (2.b) empresa 2.	93
Figura 5-3. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría Rectangular invertida.	93
Figura 5-4. (4.a) Tanque de Cromado empresa 1. (4.b) Tanque de Cromado empresa 4. Procedimiento de trabajo semicerrado.	96
Figura 5-5. (5.a) Tanque de Cromado empresa 3. (5.b) Tanque de Cromado empresa 6. (5.c) Tanque de Cromado empresa 7. Procedimiento de trabajo abierto.	97
Figura 5-6. Ventilación mecánica empresa 1.	97
Figura 5-7. Ventilación natural en empresas cromadoras. (7.a) Empresa 2. (7.b) Empresa 3. (7.c) Empresa 4. (7.d) Empresa 5. (7.e) Empresa 6. (7.f) Empresa 7.	98
Figura 5-8. Superficie de cuerpo expuesta de trabajadores en cromadoras. (8.a) Empresa 1. (8.b) Empresa 2. (8.c) Empresa 3. (8.d) Empresa 4. (8.e) Empresa 5. (8.f) Empresa 6. (8.g) Empresa 7.	100
Figura 5-9. Curva de calibración para determinación de cromo hexavalente en aire. .	103
Figura 5-10. Lavado de filtros con H ₂ SO ₄ 0,5 N.	103
Figura 5-11. Preparación de difenilcarbazida.	104
Figura 5-12. Complejo difenilcarbazida cromo hexavalente.	104
Figura 5-13. Estándares de curva de calibración.	106
Figura 5-14. Parámetros de curva de calibración.	107
Figura 5-15. Preparación de las muestras de orina.	108
Figura 5-16. Ajuste de las copas de muestreo en el equipo para medición.	108

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1. enfermedades relacionadas con la utilización de cromo hexavalente y sectores en donde se utiliza.	36
Tabla 3-2. cromo y sus compuestos inorgánicos.	42
Tabla 3-3. Valores de TLV-TWA® y BEI® para cromo hexavalente según la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)	42
Tabla 3-4. Diferencias en la metodología HSE e INRS.	43
Tabla 3-5. Clases de peligro en función de las frases "R" y "H"	45
Tabla 3-6. Tabla para evaluar clase de cantidad utilizada de químicos inhalables en el ambiente laboral	46
Tabla 3-7. Tabla para evaluar frecuencia de utilización de químicos inhalables en el ambiente laboral	46
Tabla 3-8. Clase de exposición potencial	47
Tabla 3-9. Puntuación para la clase de riesgo potencial	47
Tabla 3-10. Puntuación de clase de pulverulencia y volatilidad.	48
Tabla 3-11. Puntuación para clase de procedimiento de trabajo.	49
Tabla 3-12. Determinación y puntuación para cada clase de procedimiento.	50
Tabla 3-13. Factor de corrección en función de VLA.	51
Tabla 3-14. Caracterización de riesgo por inhalación.	51
Tabla 3-15. Comparación de metodologías de evaluación de riesgo por contacto dérmico con sustancias químicas. (COSHH/INRS/RISKOFDERM)	52
Tabla 3-16. Clase de peligro por contacto dérmico.	53
Tabla 3-17. Puntuación para asignación de clase de superficie expuesta	53
Tabla 3-18. Puntuación de frecuencia de exposición.	54
Tabla 3-19. Puntuación del riesgo potencial por contacto dérmico.	54
Tabla 3-20. Estado físico de los contaminantes químicos según su forma.	56
Tabla 4-1. Distribución de cromadoras en las localidades de Bogotá D.C. reportados por Secretaría Distrital de Salud.	62
Tabla 4-2. Depuración de empresas cromadoras del censo de la SDS Bogotá.	63
Tabla 4-3. Empresas cromadoras invitadas a participar en el estudio.	65
Tabla 4-4. Etapas y objetivos de evaluación cualitativa del riesgo potencial.	66
Tabla 4-5. Tamaño mínimo de muestra (n) para incluir (el 90% de nivel de confianza) al menos con un empleado en alto riesgo.	72
Tabla 4-6. Rango de aceptación obtenido para la toma de muestras de Cr ⁺⁶ en aire recolectadas en la investigación.	73

Tabla 4-7. Estándares de calibración curva de medición de cromo total en orina.	84
Tabla 4-8. Variables de estudio	85
Tabla 5-1. Resultado del riesgo potencial por inhalación de cromo hexavalente en empresas cromadoras de Bogotá. Método cualitativo NTP 937 INSST	91
Tabla 5-2. Configuración de las cubas de baño electrolítico en cromadoras.	93
Tabla 5-3. Frecuencia de utilización de cromo hexavalente en Cromadoras.	94
Tabla 5-4. Clase de Exposición Potencial a cromo hexavalente en las empresas cromadoras objeto de estudio.	95
Tabla 5-5. Puntuación para la clase de riesgo potencial.	95
Tabla 5-6. Operación del baño electrolítico en las empresas.	96
Tabla 5-7. Puntuación para clase de protección colectiva.	98
Tabla 5-8. Factor de corrección en función de VLA	99
Tabla 5-9. Caracterización del riesgo por inhalación de cromo obtenida para las empresas de cromadoras.	99
Tabla 5-10. Resultados de la evaluación de riesgo potencial por contacto dérmico con Acido Crómico en cada una de las empresas participantes.	101
Tabla 5-11. Concentraciones de la curva de calibración.	102
Tabla 5-12. Resultado de la medición de cromo hexavalente en ambientes laborales de las cromadoras.	105
Tabla 5-13. Estándares de calibración curva de medición de cromo total en orina.	106
Tabla 5-14. Concentración en $\mu\text{g/l}$ de cromo total en orina en muestras objeto de estudio y su corrección por g de creatinina.	109
Tabla 5-15. Descripción de convocatoria.	110
Tabla 5-16. Relación de resultados de la evaluación potencial de riesgo con la concentración medida de cromo en aire.	111
Tabla 5-17. Datos tabulados de la encuesta a los trabajadores.	113
Tabla 5-18. Relación de resultados de la evaluación potencial de riesgo con la concentración medida de cromo total en orina.	113
Tabla 5-19. variables que intervienen en el riesgo de exposición vs concentración de cromo total en orina en cromadores.	114

Lista de Símbolos y abreviaturas

Unidad	Término	Medida
mm	Milímetros	Longitud
g	Gramo	Masa
µg	Microgramo	Masa
mg	Milígramo	Masa
L	Litro	Volumen
mL	Mililitro	Volumen
°C	Grados Celsius	Temperatura
min	Minutos	Tiempo
A/dm ²	Amperios/decímetro cuadrado	Densidad de corriente

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
BEI®	Índice biológico de exposición
COSHH	Metodología de evaluación cualitativas del nivel de riesgo por inhalación a sustancias químicas <i>Control of Substances Hazardous to Health</i> de Inglaterra.
CAS	<i>El Chemical Abstracts Service</i> , Identificación numérica de productos químicos.
EAA-HG	Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
IARC	<i>International Agency For Research On Cancer</i> . Francia
INRS	<i>Institut National de la Recherche et de Sécurité</i> . Francia
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. Hoy Instituto Nacional de Seguridad y Salud en Trabajo: INSST

Abreviatura	Término
NIOSH	<i>The National Institute for Occupational Safety and Health</i> Estados Unidos
NTP	Notas técnicas de prevención. España <i>Risk Assessment for Occupational Dermal Exposure to Chemicals.</i>
RISKOFDERM	Aplicación informática para la evaluación y control del riesgo por exposición dérmica a sustancias químicas. INSST España
SDS	Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C
SGA	Sistema Globalmente Armonizado Estados Unidos
TLV-TWA®	Valor límite umbral ACGIH
UV-Vis	Espectrofotometría Ultravioleta Visible

Introducción

El crecimiento de la población, incrementa la necesidad de bienes y servicios y así mismo la de mejorar las condiciones de vida. Esto obliga a la industria a incluir dentro de sus procesos alternativas que den respuesta a estas necesidades. Una de estas demandas se encuentra en el acabado de las piezas metálicas, que aplican tanto para decoración, como algunas autopartes de vehículos, griferías y muebles de hogar; así como la protección del material contra la corrosión.

El cromado es la alternativa más económica de contrarrestar la corrosión de los metales, dada la baja complejidad del proceso, el cual se resume en la inmersión de las piezas a proteger en un tanque con una solución de Ácido Crómico H_2CrO_4 que se encuentra a una temperatura que oscila entre $40^{\circ}C$ y $60^{\circ}C$, en donde se hace pasar corriente alterna para ayudar a migrar el cromo (Cr) a la pieza recubriéndola con una fina capa.

El Cr es un metal que se encuentra en la naturaleza en forma de mineral; tiene tres estados de valencia; Cr^0 en su forma metálica, cromo trivalente como oligoelemento esencial para el metabolismo de la insulina, y el cromo hexavalente que se utiliza para fines industriales en el caso de la fabricación de pigmentos, curtido de pieles y, como se mencionó anteriormente, en el recubrimiento electrolítico del metal, a partir del ácido crómico H_2CrO_4 . El cromo hexavalente y sus compuestos se encuentran clasificados en el grupo 1A como sustancias cancerígenas según la IARC; de allí radica el interés toxicológico por realizar estudios de dosis respuesta por exposición ocupacional.

Es así, que el desarrollo de estudios descriptivos de la población trabajadora de procesos de recubrimientos electrolíticos especialmente el cromado, permite identificar la forma como se lleva a cabo el procedimiento de recubrimiento por parte de las microempresas

que realizan de forma artesanal este tipo de actividades, sin tomar conciencia de los peligros de las sustancias utilizadas, además de los efectos en salud que puedan generarse por esa exposición. El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de cromo hexavalente en ambientes laborales y la concentración de cromo total en orina de trabajadores de empresas cromadoras de Bogotá.

En este estudio se realizó el análisis cualitativo de riesgo potencial por inhalación y contacto dérmico a siete empresas cromadoras de piezas metálicas que incluyó la medición de la concentración de cromo hexavalente en el aire al trabajador que realiza actividades de cromado; además de realizar biomonitorio por medio de la medición de la concentración de cromo total en orina y así realizar un análisis descriptivo de los hallazgos evidenciados.

1. Justificación

Actualmente, según el censo de la Secretaría Distrital de Salud, Línea de seguridad Química 2017, a nivel distrital el 14% de las empresas de Bogotá corresponde a fabricación de estructuras básicas de metal, siendo el acero y el hierro las materias primas más empleadas por ofrecer beneficios técnicos y económicos. Sin embargo, este tipo de materiales son muy susceptibles al deterioro por corrosión.

Ante la necesidad de evitar la corrosión de estas piezas por la exposición a condiciones ambientales como temperatura y humedad, el acondicionamiento de metales (galvanizado, soldadura, templado) son métodos usados comúnmente en la industria dado que mejora la resistencia a la corrosión, por medio del tratamiento térmico y electrolítico con la adición de cromo hexavalente a la pieza metálica dadas sus características antioxidantes.

El galvanizado es uno de los métodos usados comúnmente por su facilidad de operación y sus bajos costos económicos. En Bogotá, el número de empresas de recubrimiento electrolítico en donde se utiliza el ácido crómico (niquelado y cromado) se acerca a las veintiocho con distribución por localidad así: Mártires 28%, Puente Aranda 21%, Fontibón 18%, Kennedy 14%, Suba 7% para Ciudad Bolívar, Rafael Uribe y Santafé 3,5%. De estas empresas, el 43% se han trasladado de su ubicación siendo aún más difícil su identificación y georreferenciación o han optado por tercerizar el proceso de pulido y cromado. Adicional a lo anterior, y teniendo en cuenta que el promedio de trabajadores expuestos a cromo hexavalente para cada empresa está entre cuatro y seis personas, se ajusta una población de expuestos cercana a 200 personas.

Las características toxicológicas del cromo que lo clasifican como sustancia cancerígena (1) dependen de su estado de oxidación, y por ese motivo el interés de los académicos por

estimar el riesgo de padecer cáncer de pulmón para los trabajadores de las empresas cromadoras, con resultados atribuibles, asociados a: problemas en la piel, perforación de septo nasal, genotoxicidad y mutagénesis (2), además de la generación de estrés oxidativo (3,4) apoptosis y ruptura de cadena de ADN (5,6), toxicidad hepática, renal y citotoxicidad (7). Lo anterior sumado a las condiciones en las cuales se realiza la sin medidas de protección y de manera artesanal, con prácticas generacionales e inseguras y dentro del contexto del sector informal. Muchas empresas donde se realiza este proceso, están caracterizadas como medianas y pequeñas empresas que por lo general no se encuentran aseguradas a riesgos laborales y sin controles eficientes.

De acuerdo con el conocimiento del peligro existente en continuar el uso de ácido crómico (Cr^{+6}) para el recubrimiento, la conversión tecnológica del proceso productivo que demandaría realizar el cambio del del Cr^{+6} por Cr^{+3} disponible en el mercado del sector como medida de sustitución del peligro, no es factible para el sector artesanal e informal; dado que es muy costosa y se vería reflejada en el precio del producto final, lo cual no sería competitivo con respecto a una pieza nueva o de material resistente.

A nivel nacional se cuenta con un estudio de medición de cromo en aire en galvanoplastia y curtimbres (8), pero que no identifica el nivel de exposición biológica del trabajador y no se han explorado las condiciones que afectarían esta exposición. Con esta investigación se pretende caracterizar la exposición de los cromadores en aire y orina con el fin de identificar el potencial riesgo a la salud que representa el desarrollo de esta actividad con las técnicas, procedimientos, materiales y condiciones anteriormente descritas y así fortalecer las acciones de prevención y seguimiento.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar cromo hexavalente en ambientes laborales, cromo total en orina y estimación del nivel de riesgo para la salud de acuerdo con las condiciones de exposición de trabajadores de empresas cromadoras de Bogotá.

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar la exposición a cromo hexavalente de los trabajadores de las empresas cromadoras mediante una metodología simplificada para evaluación del riesgo potencial.

Medir la concentración de cromo hexavalente en los ambientes laborales de las empresas cromadoras, por medio de bombas de muestreo personal por el método NIOSH 7600 validado para los requerimientos del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional sede Bogotá.

Medir la concentración de cromo total en orina de los trabajadores expuestos en los ambientes laborales de las cromadoras mediante el método INSHT (MTA/MB-018/A94), validado para los requerimientos del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional sede Bogotá.

Describir los resultados de la evaluación del riesgo potencial, las concentraciones medidas en los ambientes laborales y en los trabajadores expuestos, frente a los TLV-TWA® y BEI® adoptados en Colombia.

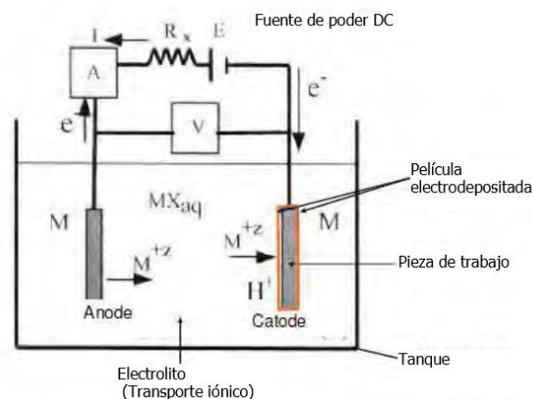
3. Marco teórico

3.1 Recubrimiento electrolítico con cromo

Lo que hace al acero inoxidable, es contener un porcentaje de 8 al 12% de cromo en su estructura metálica, motivo por el cual el recubrimiento electrolítico con cromo es ampliamente utilizado en la industria, además de mejorar al material en propiedades mecánicas, físicas y químicas como dureza, coeficiente de fricción y también como cromo decorativo.

Este recubrimiento se realiza por la reducción del Cr^{+6} a Cr^0 (forma metálica) por medio de electrodeposición (transferencia de masa) y de la aplicación de densidad de corriente, temperatura y con la pieza a cubrir como cátodo.

Figura 3-1. Componentes de un recubrimiento electrolítico



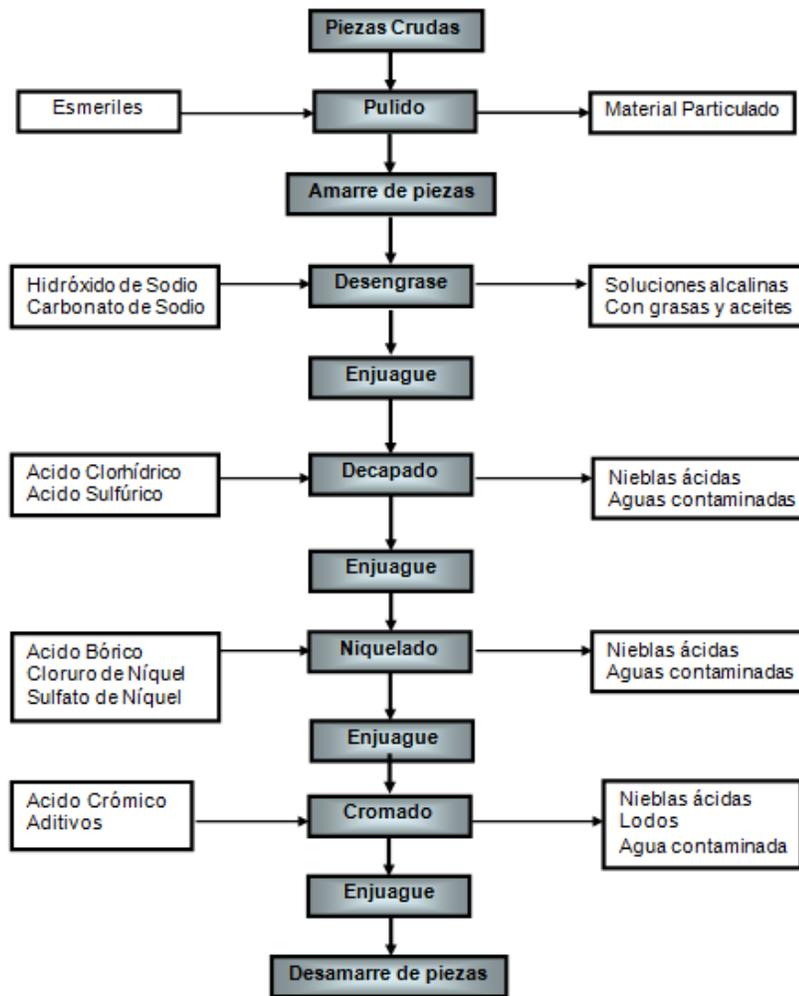
Fuente: Julve E. Perspectiva general del cromado industrial: Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado. Química e industria. 2001;19-27.

De acuerdo con la figura 3-1, en un tanque inerte a la solución, por lo general en fibra de vidrio, se agrega una solución electrolítica compuesta por la sal del metal en este caso el ácido crómico H_2CrO_4 , catalizador que modifica el potencial de reducción del metal (ácido

sulfúrico H_2SO_4), un ánodo (conductor electrónico) que puede ser soluble o insoluble y funciona como contra electrodo y una fuente de corriente directa (transformador o rectificador).

Con el fin de caracterizar la exposición, en la figura 3-2 se muestra el diagrama de procesos llevado a cabo en el cromado electrolítico de piezas metálicas.

Figura 3-2. Diagrama de procesos para el cromado de piezas metálicas



Fuente: Páez J, Gonzalez N, García P. Estandarización del manejo integral de sustancias químicas a través de herramientas de producción más limpia en el proceso de galvanotecnia en la localidad de Puente Aranda. Tesis de grado de Especialización en Seguridad Industrial, Higiene y Gestión Ambiental. 2011. Se localiza en la Universidad Agraria de Colombia; 2011.

Inicialmente se recibe la pieza en bruto, que en la mayoría de las veces tiene superficie irregular por cortes, doblados y soldaduras. Esto interfiere en la eficiencia del recubrimiento

por lo cual la pieza debe estar lo más uniforme posible en su superficie, por esto se debe pulir con esmeriles ver figuras 3-3 (9). Dependiendo del tamaño de la pieza, éstas se deben amarrar a estructuras previamente acopladas para el proceso de inmersión en los tanques, esto les permite mejorar la manipulación con las piezas pequeñas y la eficiencia del proceso (9).

Figura 3-3. (3.a) Pulido con esmeril. (3.b) Amarre de piezas



(3.a)

(3.b)

Fuente: Rannier, J. (2013, 2 de Octubre). Explicación proceso cromado [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xG2V3yyvNV4>.

Para el desengrase, se sumerge la pieza en soluciones Hidróxido de Sodio NaOH o Carbonato de Calcio CaCO_3 con el fin de retirar cualquier tipo de grasa que tenga la pieza proveniente de sus anteriores procesos y que puedan contaminar las soluciones electrolíticas. En este paso se ayuda con remoción mecánica (limpieza manual) por parte del trabajador el tiempo de exposición depende del tamaño y la forma de la pieza. (9). Ver figuras 3-5. Después de cada proceso de inmersión se debe realizar un enjuague de las piezas; este proceso se realiza en tres tanques de agua en línea en donde se sumergen consecutivamente las piezas; el fin es retirar el contenido de alcalis que traiga la pieza después del desengrase.

El decapado de piezas se realiza con el fin de garantizar la limpieza total de la pieza para ingresar a los tanque de niquelado y cromado posteriormente. En este proceso se utiliza 5% ácido sulfúrico H_2SO_4 , 30% ácido clorhídrico HCl y 65% de agua. (9).

Figura 3-4. (4.a) Desengrase de piezas pulidas. (4.b) Decapado de la pieza luego del desengrase



(4.a)

(4.b)

Fuente: Rannier, J. Explicación proceso cromado. [Video]. (2013, 2 de Octubre). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xG2V3yyvNV4>

El proceso de niquelado se realiza con el fin de crear una aleación con el metal a recubrir, de tal forma que mejore sus características mecánicas para el posterior recubrimiento con cromo. Se utilizan reactivos como ácido bórico H_3BO_3 , cloruro de níquel $NiCl_2$ y sulfato de níquel $NiSO_4$, se mantiene sumergido el material alrededor de 40 minutos. (9). Ver figura 3-5.

Figura 3-5. (5.a) Niquelado electrolítico de las piezas metálicas. (5.b) Enjuague de Níquel.



(5.a)

(5.b)

Fuente: Rannier, J. Explicación proceso cromado. [Video]. (2013, 2 de Octubre). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xG2V3yyvNV4>

Finalmente se realiza el recubrimiento con cromo, Aquí se utiliza ácido crómico H_2CrO_4 , (Cr^{+6}) ácido sulfúrico H_2SO_4 , una temperatura de la solución del rango de 35 a 55 °C

dependiendo del tamaño de la pieza y el espesor del cromado que se requiera, a una densidad de corriente de 10 a 15 A/dm². (10). Ver figuras 3-6.

Figura 3-6. (6.a) Cromado electrolítico de las piezas metálicas. (6.b) Enjuague de cromo.



(6.a)



(6.b)

Fuente: Rannier, J. Explicación proceso cromado. [Video]. (2013, 2 de Octubre). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xG2V3yyvNV4>

3.2 Aspectos toxicológicos del cromo CAS 7440-47-3

El cromo es un metal que, en la naturaleza, siempre se encuentra en forma combinada. El mineral más abundante es la cromita ($\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}$). Los principales grados de oxidación en los que existe el cromo son los siguientes:

1. cromo trivalente: muy inestable; poca importancia biológica.
2. cromo trivalente y cromo hexavalente: en la mayoría de industrias y procesos que se utiliza cromo existe una exposición combinada a los dos elementos en sus estados de oxidación, siendo este último de importancia toxicológica.

El cromo es un nutriente esencial y el ser humano lo consigue a través del aire, el agua y los alimentos. La importancia e interés de las acciones preventivas en los trabajadores expuestos a compuestos de cromo está determinada, fundamentalmente, por la amplia y variada utilización en la industria, además de su capacidad para generar efectos cancerígenos y genotóxicos.

3.2.1 Toxicocinética

▪ **Absorción.** Dadas las condiciones físico químicas en las que se debe llevar a cabo el proceso de recubrimiento electrolítico, la generación de emisiones al ambiente en forma de nieblas del ácido crómico (Cr^{+6}), potencializa la exposición del trabajador y aumenta el riesgo de ser incorporadas al organismo por las diferentes vías. Según estudios realizados de las concentraciones del contaminante en el aire (11, 12, 13, 14), se comprueba que los límites promedio permisibles establecidos para Cr^{+6} soluble ($0,0002 \text{ mg/m}^3$) por la ACGIH TLV-TWA® se superan en las cohortes estudiadas con atribución a la vía inhalatoria, lo que aumenta el peligro de intoxicación.

En cuanto al aporte que se realice al organismo por contacto dérmico o vía oral, también se ha descrito en estudios (15) que se encuentra una concentración significativa la concentración de Cr^{+6} en las mediciones realizadas en manos y miembros inferiores de los trabajadores; esto se estima dados los deficientes hábitos de higiene personal, lo que probablemente puede causar riesgo de sensibilización en la piel.

El ingreso por vía oral se considera despreciable, dado que se realizaron estudios donde se medía en heces la capacidad de absorción del tracto gastrointestinal del Cr^{+6} , obteniendo un resultado del 90% de reducción por la forma ácida de los jugos gástricos a Cr^{+3} , lo cual se considera como un factor de protección (16).

De las posibles vías de ingreso la más importante a nivel laboral es la inhalatoria, el 50% del cromo hexavalente inhalado es absorbido y puede atravesar las membranas biológicas por difusión o fagocitosis (17).

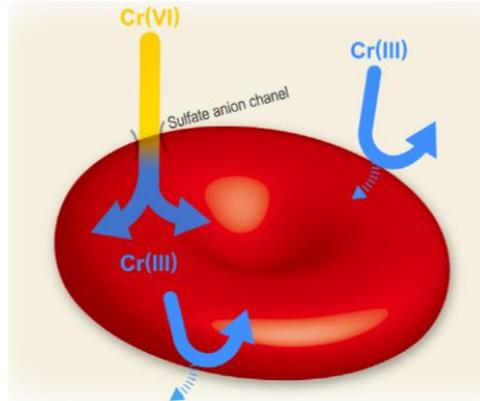
▪ **Distribución.** Al inhalar las partículas de cromo hexavalente a dosis relativamente altas durante largos periodos de tiempo, estas entran por la tráquea, pasan a los bronquiolos hasta llegar a los alveolos pulmonares en donde se adhieren a las células epiteliales y lentamente liberan altas concentraciones de cromo en la superficie celular (18,19). Allí, por difusión pulmonar entran a la sangre y son transportadas mediante la proteína transportadora de banda 3 anión, componente estructural importante de la membrana celular del eritrocito, (responsable de mediar el intercambio del ion cloruro (Cl^-))

para bicarbonato (HCO_3^-) a través de la membrana plasmática del eritrocito) (20). Una vez se encuentran en el torrente sanguíneo, de manera selectiva, como se indicó anteriormente, los eritrocitos son los encargados de distribuirlo al hígado, riñón y bazo mediante el mismo mecanismo que involucra el intercambio del ion cloruro y bicarbonato; un estudio de la Organización Mundial de la Salud (21), revela que en un modelo animal 11% de la dosis suministrada de Cr^{+6} se encontraba en los pulmones, 8% en eritrocitos y plasma, 3% en el riñón y 4% en hígado y después de 140 días sólo se detectaba en pulmón y bazo.

- **Metabolismo.** Debido a la gran inestabilidad que tiene el Cr^{+6} este, se metaboliza reduciéndose rápidamente a Cr^{+3} a nivel de mitocondrias, el núcleo y citoplasma por reductores intracelulares (17), en esta reducción se generan intermediarios reactivos como Cr^{+5} , Cr^{+4} hasta llegar a Cr^{+3} , así como radicales libres hidroxilo y oxígeno (22). Teniendo en cuenta que el Cr^{+3} es un oligoelemento esencial para el metabolismo de la glucosa, y que puede estar presente junto con el Cr^{+6} , es importante diferenciar que mientras el Cr^{+3} se mimetiza para ser transportado y cruzar membrana por medio de la transferrina debido a su baja permeabilidad, el Cr^{+6} de manera selectiva y por su alta permeabilidad cruza la membrana del eritrocito en donde se reduce por el glutatión y queda atrapado en él por su tiempo de vida. (Figura 3-7) Por lo anterior el Cr^{+3} reducido que se encuentra en eritrocito proviene de Cr^{+6} (21).

En modelos animales se demostró que el ascorbato es el principal agente reductor; en el momento en que éste se agota o de manera alterna también puede participar el glutatión (23). Estas formas reactivas del cromo son susceptibles de alterar el ADN (8, 24, 25)

Figura 3-7. Metabolismo de Cr+6 vs Cr+3.



Fuente: Lewalter J, Korallus U, Harzdorf C, Weidemann H. Chromium bond detection in isolated erythrocytes: a new principle of biological monitoring of exposure to hexavalent chromium. *Int Arch Occup Environ Health.* 1985;55(4):305–18

- **Eliminación.** Es eliminado por vía renal en un 60 %, decreciendo en una proporción de alrededor de 1,5 ug de Cr/gr creatinina por hora, con una vida media de alrededor de 36 – 43 horas (24); y en menor grado por heces (vía biliar), cabello, uñas, leche materna y sudor. En la orina encontramos fundamentalmente Cr⁺³ como complejo con el glutatión, pues el Cr⁺⁶ es reducido en gran parte a Cr⁺³.

Según Lewalter (25), mediante la generación de complejos excretantes del plasma humano, como el ácido ascórbico, proteínas y el glutatión, se puede generar de un 4% a 8% de desintoxicación de Cr⁺⁶ a Cr⁺³ después de la reducción dentro del eritrocito en las primeras 24 horas. Teniendo en cuenta una semivida del Cr⁺⁶ dentro del eritrocito de 24 a 40 días y no por la vida del eritrocito que se calcula en 115 días.

3.2.2 Toxicodinamia

El Cr⁺⁶ tiene la forma de cromato tetraédrico a pH fisiológico, muy semejante a los aniones sulfato y fosfato. Es por esto que cruza la membrana por medio de los canales que transportan dichos aniones (26), una vez el Cr⁺⁶ entra a las células, se reduce a Cr⁺³ que genera productos intermedios como Cr⁺⁵ y Cr⁺⁴ que reaccionan con el oxígeno molecular

produciendo Peróxido de Hidrogeno H_2O_2 , que a su vez reacciona con el Cr^{+5} el cual genera radical hidroxilo OH^{\cdot} .

La interacción de estos intermedios reactivos con el DNA puede producir daños estructurales como rupturas de filamentos, aductos y aberraciones de los cromosomas (14, 27). Adicional a lo anterior se reporta una acción cáustica directa por acción corrosiva sobre la piel además de perforación del tabique nasal por inhalación de nieblas, dermatitis alérgica que genera irritación primaria y sensibilización. En las vías aéreas causa irritación del tracto respiratorio superior y posterior sensibilización, que ocasiona rinitis crónica, bronquitis crónica y asma de origen ocupacional, necrosis tubular renal, inmunodepresión y efectos citotóxicos (28).

De acuerdo con la monografía 49 de la IARC (1), Los efectos sobre el riñón y los órganos respiratorios son los más importantes. Los estudios en conejos mostraron cambios morfológicos en los macrófagos alveolares de ocurrieron después de la exposición al Cr^{+6} durante las siguientes cuatro a seis semanas reduciendo la actividad fagocítica. Estos efectos pueden ser producto de la unión a macromoléculas en la célula. Adicional a lo anterior, un estudio en células de hámster chino, mostró un efecto inhibitorio sobre la progresión del ciclo celular.

Por otro lado, Las lesiones renales en los animales se limitan a los túbulos contorneados proximales que aumentan la β -glucuronidasa urinaria, lisozima, glucosa e inhibidores de la proteinasa disminuyendo Las concentraciones de fosfatasas y lactato deshidrogenasa en el tejido renal.

3.2.3 Enfermedades relacionadas con el cromo hexavalente

De acuerdo con la tabla de enfermedades laborales expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social del gobierno de Colombia expedido mediante el decreto 1477 de 2014 (29) en donde se realiza la identificación de los agentes de riesgo con el fin de prevenir las enfermedades de acuerdo con las actividades laborales y facilitar la determinación del diagnóstico médico de los trabajadores afectados en la tabla 3-1 se presentan las

enfermedades relacionadas a la exposición a cromo hexavalente y los procesos en donde se utiliza.

Tabla 3-1. enfermedades relacionadas con la utilización de cromo hexavalente y sectores en donde se utiliza.

AGENTES ETIOLÓGICOS / FACTORES DE RIESGO OCUPACIONAL	OCUPACIONES / INDUSTRIAS El listado de ocupaciones e industrias no es exhaustivo. Se mencionan las más representativas, pero pueden existir otras circunstancias de exposición ocupacional	ENFERMEDADES
Cromo y sus compuestos tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación del ácido crómico, de los cromatos y bicromatos alcalinos. - Fabricación de pigmentos basados en cromatos o bicromatos alcalinos - Empleo de bicromatos alcalinos en el barnizado de muebles. - Empleo de cromatos y bicromatos alcalinos como fijadores en tintorería y estampado de tela - Curtido de cueros con cromo. - Preparación de chicles para la impresión fotomecánica. - Cromado electrolítico de metales (galvanoplastia). - Fabricación de vidrios y esmaltes de colores. - Soldadura de acero inoxidable. - Fabricación de cemento y trabajos de construcción civil. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Neoplasia maligna de bronquios y de pulmón (C34) ✓ Otras rinitis alérgicas (J30.3) ✓ Rinitis crónica (J31.0) ✓ Ulceración o necrosis del tabique nasal (J34.0) ✓ Asma (J45) ✓ Dermatitis papulo pustulosas y sus complicaciones infecciosas (L08.9) ✓ Dermatitis alérgica de contacto (L23) ✓ Dermatitis de contacto por irritantes (L24) ✓ Úlcera crónica de la piel no clasificada en otra parte (L98.4) ✓ Efectos tóxicos agudos (T56.2) ✓ Tumor maligno de la fosa nasal (C30.0).

Fuente: Ministerio de Salud y Protección Social. Decreto 1477: por la cual se expide la tabla de enfermedades laborales; 2014

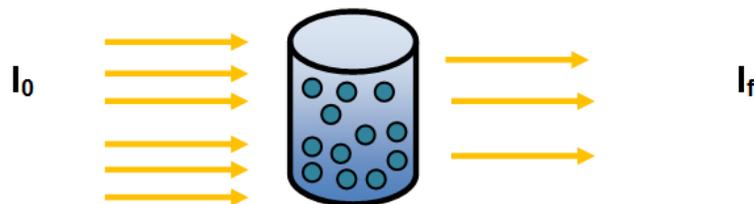
3.3 Metodologías espectro químicas de medición de cromo

3.3.1 Métodos espectroquímicos

Son aquellas medidas basadas en la luz como forma de radiación electromagnética y que tienen interacciones con la materia. Su fundamento se basa en la medición de la cantidad de radiación que puede absorber un átomo o molécula, de acuerdo con la región del espectro (longitud de onda) que se utilizará para realizar la medida, que puede ser cualitativa o cuantitativa.

Absorbancia y Transmitancia. En el momento en que un rayo de luz de intensidad inicial I_0 pasa por una celda en donde se encuentra un analito (molécula o átomo) susceptible de absorber radiación; dicha intensidad final I_f se verá de alguna forma atenuada. A esto se le llama absorbancia. Mientras que la relación entre la intensidad inicial I_0 y la intensidad final I_f es la Transmitancia; tal como lo muestra la figura 3-8.

Figura 3-8. Intensidad de Luz absorbida por analito.



Fuente: Elaborada por el autor

Esta relación de proporcionalidad entre la absorbancia del analito y la concentración presente en la muestra, la plantea la Ley de Lambert-Beer (30) con la ecuación 3,1:

$$A = \log \frac{I_0}{I_f} = \epsilon cl \quad (3,1)$$

En donde:

A = Absorbancia

ϵ = Absortividad Molar expresada en moles/Litro y l en cm.

c = Concentración del analito en mol/L

l = Longitud de la celda en donde se encuentra el analito y se realiza la lectura

3.3.2 Espectrofotometría de absorción atómica

Es una técnica espectrofotométrica que permite determinar la concentración especialmente de metales a nivel de $\mu\text{g/mL}$, $\mu\text{g/L}$ ó ng/L . El fundamento de la técnica es la absorción a longitudes de onda discretas de la luz por el cambio de los átomos en estado fundamental a átomos libres en fase gaseosa, que se forman a partir de la atomización de la muestra por las altas temperaturas. Su gran ventaja está en que el análisis del metal es independiente de la forma química del elemento pues determina la concentración total del metal. Con los átomos libres por medio de un sistema atomizador (horno de grafito) calentado eléctricamente, pueden absorber la radiación a una longitud de onda específica para cada elemento emitida por una fuente que en este caso es una lámpara de cátodo hueco (31). En general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento.

Como se contextualizó anteriormente, la cantidad de energía suministrada es proporcional a la concentración del elemento a medir.

- **Equipos.** La configuración típica de un equipo de absorción atómica consta de una fuente de luz, denominada lámpara de cátodo hueco (Figura 3-9a), que son cilindros de vidrio sellados al vacío con un gas inerte en su interior, recubiertos con una fina capa del metal que se va a determinar y cuyo espectro será emitido por la lámpara. Por esta razón se debe usar una lámpara específica para cada elemento a determinar y un atomizador para analizar los átomos de la muestra.

En el caso de análisis de cromo total en orina el atomizador que se utilizará será el horno de grafito ya que es un equipo muy sensible y requiere menor volumen de la muestra que los otros tipos de atomizadores (llama o plasmas de acoplamiento inductivo). El horno de grafito tiene una forma cilíndrica, abierto por ambos extremos, con una longitud aproximada de 18 a 28 mm y un diámetro interno de 6 a 10 mm. En su centro tiene un pequeño agujero por el cual la muestra se introduce por el auto muestreador (Figura 9b). En sus extremos cuenta con un par de electrodos de grafito que son refrigerados por el paso de una corriente

de agua. Todo el horno se purga con argón para excluir el aire de su interior con el fin de evitar su incineración por las altas temperaturas y también para purgar los vapores generados por la matriz en el proceso de vaporización y calcinación. Y finalmente un monocromador y un detector con su respectivo amplificador y registrador que se encuentran acoplados en el equipo.

Figura 3-9. (9.a) Lámpara de cátodo hueco de Cr. (9.b) Tubo de grafito.



(9.a)



(9.a)

Fuente: [Fotografía de Johanna Páez]. (2017, mayo). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

Para los métodos espectrales existen interferencias, dentro de las más comunes están las interferencias espectrales de banda en donde una especie molecular hace un tipo de solapamiento con el elemento de interés debido a que los perfiles de absorción son similares. A este fenómeno se le llama absorción de fondo en donde el resultado de la medición, arroja una absorción artificialmente alta y un cálculo exagerado de la concentración en la solución. Para corregir estas interferencias, se utilizan varios métodos como el de Zeeman que usa un campo magnético para dividir la línea atómica en dos bandas laterales o el método de Smith-Hieftje utiliza una lámpara catódica hueca que genera pulsos de alta corriente, que provoca una mayor población de átomos y auto-absorción durante los pulsos, y finalmente la Lámpara de corrección de deuterio, en donde se usa una fuente de amplia emisión (una lámpara de deuterio), que es modulada junto con la lámpara de cátodo hueco a la misma frecuencia, para que recorran el mismo camino óptico a través de la muestra en el monocromador y así llegar al detector, emitiendo una

señal corregida con respecto a la absorción de fondo. En esta investigación se utilizó corrección de fondo con lámpara de deuterio.

▪ **Fenómenos fisicoquímicos para la medición.** Para que el analito, que normalmente se encuentra en estado líquido se convierta en gas atómico, dentro del horno de grafito que se calienta por el paso de la corriente, debe sufrir tres transformaciones:

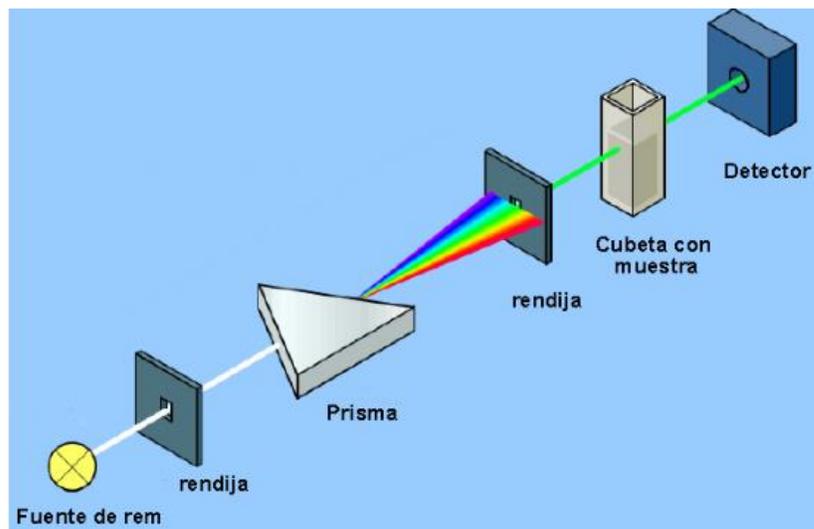
1. Deshidratación (110°C) o secado de la muestra.
2. Mineralización (300°C – 1200°C) en donde el material orgánico presente en la matriz se vuelve cenizas o agua o dióxido de carbono.
3. Atomización o evaporización (2000°C – 3000°C).

3.3.3 Espectrofotometría de Ultravioleta Visible UV-Vis

Es una técnica analítica que basada en el fenómeno físico de Absorbancia y Transmitancia expuestas en numeral anterior, permite cuantificar la concentración de un compuesto en solución por medio de la linealidad existente entre la absorción de radiaciones electromagnéticas y la concentración (30).

▪ **Equipos.** Los espectrofotómetros en general constan de una fuente de energía radiante que en el caso del equipo que se utilizó y se encuentra en el Laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, es de deuterio tungsteno, un monocromador para ajustar la longitud de onda en la cual se va a realizar la medición en este caso del metal. Contiene un espacio en donde se aloja la celda de cuarzo que lleva la muestra para su posterior lectura, detector y amplificador de luz que convierte las señales luminosas en eléctricas y una pantalla en donde se registran los datos (32).

Figura 3-10. Estructura básica y funcionamiento de un espectrofotómetro UV-Vis.



Fuente: Químicaorgánica.org [internet]. Academia Minas de Oviedo.. Disponible en: <http://www.quimicaorganica.org/espectroscopia-visible-ultravioleta/731-estructura-espectrofotometro.html>. Citado el 24 de Septiembre de 2017

3.4 Evaluación de la exposición laboral

Según el estatuto de seguridad industrial (Resolución 2400 de 1979 Ministerio De Trabajo y Seguridad Social), Colombia adopta los valores de seguridad máximos permitidos de exposición a sustancias peligrosas establecidos por la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales). El TLV-TWA® (valor promedio establecido para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas) se encuentra establecido para el cromo y sus compuestos inorgánicos (Tabla 3-2), en Cr⁺⁶ (0,0002 mg/m³), y el BEI® (Índice Biológico de Exposición), en 25 ug/L de Cr total en orina al final de turno del último día de la semana de trabajo, (Tabla 3-3).

Tabla 3-2. Cromo y sus compuestos inorgánicos.

Nombre Químico	Nombre comercial o sinónimos	Fórmula
Dicromato de potasio	Acido Crómico (H ₂ Cr ₂ O ₇), sal de dipotasio	K ₂ Cr ₂ O ₇
Cromato de sodio	Acido Crómico (H ₂ CrO ₄), sal de sodio	Na ₂ CrO ₄
Dicromato de sodio	Acido Crómico (H ₂ Cr ₂ O ₇), sal de sodio	Na ₂ Cr ₂ O ₇
Cromato de estroncio	Pigmento amarillo	SrCrO ₄
Cromato de Zinc	Botón de oro amarillo	ZnCrO ₄
Hidróxido cromato de Zinc	Cromato básico de Zinc	Zn ₂ CrO ₄ (OH) ₂
Cromato de amonio	Sal de diamonio	(NH ₄) ₂ CrO ₄
Dicromato de amonio	Sal de dicromato de amonio	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇
Cromato de Bario	Sal de Bario	BaCrO ₄
Cromato de plomo básico	Pigmento naranja N. 21	PbOPbCrO ₄
Cromato de Calcio	Pigmento amarillo N. 33	CaCrO ₄
Molibdeno naranja	Pigmento rojo N. 104	PbMoO ₄ PbCrO ₄
Cromato de potasio	Sal de potasio	K ₂ CrO ₄

Fuente: International Agency for Reseach on Cancer, Monographs, chromium, Niquel and welding, V.49. Lyon Francia 1990 (1)

Tabla 3-3. Valores de TLV-TWA® y BEI® para cromo hexavalente según la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)

TLV-TWA®		BEI®	
Cromo metálico Cr⁰	0,5 mg/m ³	cromo total en orina	25 µg/L
Compuestos solubles de cromo trivalente Cr⁺³	0,003 mg/m ³	cromo total en orina	10 µg/L
Compuestos solubles de cromo hexavalente Cr⁺⁶	0,0002 mg/m ³	incremento de turno	

Fuente: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales 2017.

Se han propuesto métodos de evaluación de la exposición laboral a agentes químicos por parte de diferentes entidades expertas en el tema sugiriendo metodologías cualitativas (Reino unido y Francia) y cuantitativas NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) para el monitoreo de cromo en aire por medio del método 7600 expedido en su segunda revisión en 1994 (33) y el INSH (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene de España) para el monitoreo de cromo en orina.

3.4.1 Evaluación cualitativa

Riesgo potencial de Inhalación. En la medida que una sustancia peligrosa se encuentra caracterizada en un puesto de trabajo, y además se cuenta con la información del grado de peligrosidad (capítulo 3.2), lo importante es poder determinar cuál es su concentración y así comparar con los valores límites promedio establecidos. Para realizar comparación es importante tener en cuenta que existen variables que influyen en la concentración de la sustancia en el ambiente, y estas se encuentran relacionadas con las condiciones locativas, de trabajo y su manipulación. Con el fin de evaluar estas variables, existen métodos simplificados para realizar una estimación inicial de riesgo que puede servir de base para tomar decisiones a la hora de realizar una medición cuantitativa, dado que realizan una caracterización del proceso y la forma de operación. Dentro de las metodologías cualitativas más utilizadas se encuentran las desarrolladas por el “*Health and Safety Executive*” (HSE) del Reino Unido, denominado *COSHH Essentials* (34) y el “*Institut National de la Recherche et de Sécurité*” (INRS) de Francia (35).

Aunque las dos metodologías evalúan variables de peligrosidad y de la presencia de la sustancia en el ambiente, la metodología francesa (INRS) cuenta con la evaluación de tres variables adicionales ajustadas al proceso presentadas en la tabla 3-4.

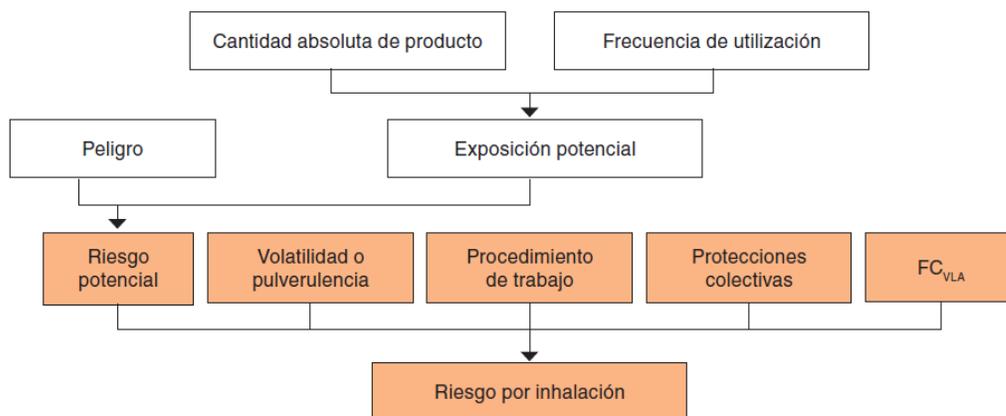
Tabla 3-4. Diferencias en la metodología HSE e INRS.

ÍTEMS	HSE	INRS
Clase de peligrosidad	Peligrosidad	Peligrosidad
Clase de exposición potencial	Cantidad Frecuencia	Cantidad volatilidad o pulverulencia
Riesgo potencial	Clase de peligro Clase de riesgo potencial — — —	Clase de peligro Clase de riesgo potencial Clase de volatilidad o pulverulencia Clase de procedimiento Clase de protección colectiva

Fuente. Elaboración propia

Debido a que la metodología del INRS tiene en cuenta más variables para la evaluación del riesgo potencial por inhalación, esta se considera más completa, como se presenta en la Figura 3-11.

Figura 3-11. Esquema para la evaluación simplificada del riesgo por inhalación INRS.



Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35).

De acuerdo con el anterior esquema, la clase de peligro la definen las antiguas frases "R" y "H" (Tabla 3-5), ahora reemplazadas por las frases "H" por indicación de peligro del inglés "Hazard statement" y "P" por consejo de prudencia del inglés "Precautionary statement" del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos SGA (36).

Tabla 3-5. Clases de peligro en función de las frases "R" y "H"

Clase de peligro	Frases R	Frases H	VLA mg/m ³ (1)	Materiales y procesos
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100	
2	R37 R36/37, R37/38, R36/37/38 R67	H335 H336	> 10 ≤ 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito Material de construcción / Talco Cemento / Composites Madera de combustión tratada Soldadura Metales-Plásticos Material vegetal-animal
3	R20 R20/21, R20/22, R20/21/22 R33 R48/20, R48/20/21, R48/20/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65 R68/20, R68/20/21, R68/20/22, R68/20/21/22	H304 H332 H361, H361d, H361f, H361fd H362 H371 H373 EUH071	> 1 ≤ 10	Soldadura inoxidable Fibras cerámicas-vegetales Pinturas de plomo Muelas Arenas Aceites de corte y refrigerantes
4	R15/29 R23 R23/24, R23/25, R23/24/25 R29, R31 R39/23, R39/23/24, R39/23/25, R39/23/24/25 R40, R42 R42/43 R48/23, R48/23/24, R48/23/25, R48/23/24/25 R60, R61, R68	H331 H334 H341 H351 H360, H360F, H360FD, H360D, H360Df, H360Fd H370 H372 EUH029 EUH031	> 0,1 ≤ 1	Maderas blandas y derivados Plomo metálico Fundición y afinaje de plomo
5	R26, R26/27, R26/28, R26/27/28 R32, R39 R39/26 R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R45, R46, R49	H330 H340 H350 H350i EUH032 EUH070	≤ 0,1	Amianto (2) y materiales que lo contienen Betunes y breas Gasolina (3) (combustible) Vulcanización Maderas duras y derivados (4)
<p>(1) Cuando se trate de materia particulada, este valor se divide entre 10 (2) Posee legislación específica y requiere de evaluación cuantitativa obligatoria por ser cancerígeno. (3) Se refiere únicamente al trabajo en contacto directo con este agente. (4) Se refiere a polvo de maderas considerado como cancerígeno.</p>				

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

La exposición potencial la definen la cantidad utilizada y la frecuencia con que ello se realiza, para ello también se utiliza un sistema de puntuación referenciado en las Tablas 3-6 y 3-7

Tabla 3-6. Tabla para evaluar clase de cantidad utilizada de químicos inhalables en el ambiente laboral

Clase de cantidad	Cantidad/día
1	< 100 g ó ml
2	≥ 100 g ó ml y < 10 Kg ó l
3	≥ 10 y < 100 Kg ó l
4	≥ 100 y < 1000 Kg ó l
5	≥ 1000 Kg ó l

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Tabla 3-7. Tabla para evaluar frecuencia de utilización de químicos inhalables en el ambiente laboral

Utilización	Ocasional	Intermitente	Frecuente	Permanente
Día	≤ 30'	> 30 - ≤ 120'	> 2 - ≤ 6 h	> 6 horas
Semana	≤ 2 h	> 2-8 h	1-3 días	> 3 días
Mes	1 día	2-6 días	7-15 días	> 15 días
Año	≤ 15 días	> 15 días - ≤ 2 meses	> 2 - ≤ 5 meses	> 5 meses
Clase →	1	2	3	4
	0: El agente químico no se usa hace al menos un año. El agente químico no se usa más.			

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

De esta manera, con la tabla 3-8, se cruzan los valores de las variables de cantidad y frecuencia para hallar la clase de exposición potencial.

Tabla 3-8. Clase de exposición potencial

Clase de cantidad						
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	Clase de frecuencia

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

El riesgo potencial se determina con el peligro potencial anteriormente identificado (Tabla 3-5) y la clase de riesgo potencial (Tabla 3-9).

Tabla 3-9. Puntuación para la clase de riesgo potencial

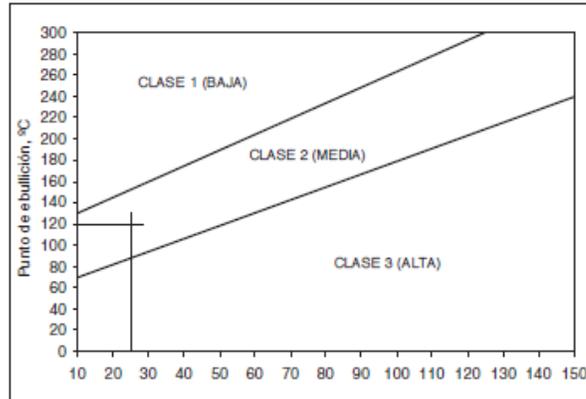
Clase de exposición potencial						
5	2	3	4	5	5	
4	1	2	3	4	5	
3	1	2	3	4	5	
2	1	1	2	3	4	
1	1	1	2	3	4	
	1	2	3	4	5	Clase de peligro

Clase de riesgo potencial	Puntuación de riesgo potencial
5	10.000
4	1.000
3	100
2	10
1	1

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Para la determinación de la volatilidad (líquidos y vapores) y pulverulencia (sólidos), depende precisamente de su estado físico, para ello se utilizan dos tablas para cada uno de los estados, dependiendo en qué forma se adiciona como agregado molecular al aire de acuerdo con las condiciones del proceso. Una de las condiciones de la sustancia en el proceso se determina mediante la figura 3-12 y la Tabla 3-9. Para ello se tiene en cuenta la temperatura de ebullición del Ácido Crómico en el estado sólido y la temperatura de trabajo, correspondiendo la puntuación de tres.

Figura 3-12. Clase de pulverulencia y volatilidad.



Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Con las tablas anteriores, se procede a asignar la puntuación correspondiente de acuerdo con la tabla 3-10.

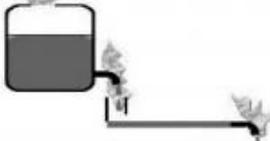
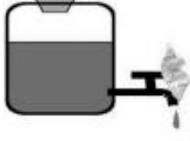
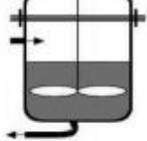
Tabla 3-10. Puntuación de clase de pulverulencia y volatilidad.

Clase de volatilidad o pulverulencia	Puntuación de volatilidad o pulverulencia
3	100
2	10
1	1

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Para la determinación de la clase de procedimiento de trabajo, se utiliza la tabla descrita en la Tabla 3-11 en donde se asigna puntuación de acuerdo con el tipo de procedimiento en el que se involucra la sustancia.

Tabla 3-11. Puntuación para clase de procedimiento de trabajo.

Dispersivo	Abierto	Cerrado/abierto regularmente	Cerrado permanente
 <p>Ejemplos: Pintura a pistola, taladro, muela, vaciado de sacos a mano, de cubos... Soldadura al arco... Limpieza con trapos. Máquinas portátiles (sierras, cepillos...)</p>	 <p>Ejemplos: Conductos del reactor, mezcladores abiertos, pintura a brocha, a pincel, puesto de acondicionamiento (toneles, bidones...). Manejo y vigilancia de máquinas de impresión...</p>	 <p>Ejemplos: Reactor cerrado con cargas regulares de agentes químicos, toma de muestras, máquina de desengrasar en fase líquida o de vapor...</p>	 <p>Ejemplos: Reactor químico.</p>
Clase 4	Clase 3	Clase 2	Clase 1
Puntuación de procedimiento			
1	0,5	0,05	0,001

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Otro aspecto que tiene en cuenta esta metodología es la protección colectiva la cual se debe tomar en cuenta, por observación, el tipo de ventilación con la que cuenta el área de proceso y se asigna la puntuación de acuerdo con Tabla 3-12.

Finalmente, con los datos anteriores se caracteriza el riesgo por inhalación y se aplica la ecuación (3.1):

$$P_{inh} = P_{riesgo\ pot} * P_{volatilidad} * P_{procedimiento} * P_{protec.colec.} * FC_{VLA} \tag{3.1}$$

Donde:

P_{inh} : Peligro por inhalación

$P_{riesgo\ pot}$: Peligro por riesgo potencial

$P_{volatilidad}$: Peligro por volatilidad

$P_{procedimiento}$: Peligro por procedimiento de trabajo

$P_{protec.colec.}$: Peligro por protección colectiva

FC_{VLA} : Factor de corrección por VLA (Valor Límite Ambiental)

Tabla 3-12. Determinación y puntuación para cada clase de procedimiento.

Trabajo en espacio con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable		Ausencia de ventilación mecánica	
Clase 5, puntuación = 10		Clase 4, puntuación = 1	
Trabajos en intemperie	Trabajador alejado de la fuente de emisión	Ventilación mecánica general	
Clase 3, puntuación = 0,7			
Campana superior	Rendija de aspiración	Mesa con aspiración	Aspiración integrada a la herramienta
Clase 2, puntuación = 0,1			
Cabina de pequeñas dimensiones ventilada	Cabina horizontal	Cabina vertical	Captación envolvente (vitrina de laboratorio)
Clase 2, puntuación = 0,1			Clase 1, puntuación = 0,001

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

En el cálculo del valor con la ecuación 3-1, se halló el riesgo potencial por inhalación. Para corregir el valor y no subestimar el riesgo que tiene la sustancia para incorporarse en el ambiente se aplica una corrección por medio del valor FC_{VLA} . Y se realiza de acuerdo con la puntuación asignada como se muestra en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13. Factor de corrección en función de VLA.

VLA	FC _{VLA}
VLA > 0,1	1
0,01 < VLA ≤ 0,1	10
0,001 < VLA ≤ 0,01	30
VLA ≤ 0,001	100

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Finalmente se obtiene la caracterización del riesgo y se determina tal y como se describe en la Tabla 3-13.

Tabla 3-14. Caracterización de riesgo por inhalación.

Puntuación del riesgo por inhalación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probablemente muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
> 100 y ≤ 1.000	2	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones)
≤ 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Fuente. NTP 937 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INSHT (35)

Riesgo potencial de contacto dérmico. Así como existen metodologías simplificadas para evaluación de riesgo por inhalación cualitativa, se utilizan diferentes metodologías para evaluar el riesgo dérmico a la exposición a sustancias químicas (37) de las mismas instituciones antes mencionadas (COSHH, INRS), y otra compuesta por el proyecto Europeo *Risk Assessment for Occupational Dermal Exposure to Chemicals* (RISKOFDERM) quienes desarrollaron una guía para la Evaluación y Gestión del Riesgo por Exposición Dérmica Laboral a Sustancias Químicas. En la siguiente Tabla 3-15 se

realiza un análisis comparativo entre las metodologías para la evaluación cualitativa de riesgo por contacto dérmico.

Tabla 3-15. Comparación de metodologías de evaluación de riesgo por contacto dérmico con sustancias químicas. (COSHH/INRS/RISKOFDERM)

ÍTEM	COSHH	INRS	RISKOFDERM
Peligrosidad	Peligrosidad	Peligrosidad	Peligrosidad o toxicidad
Clase de exposición		Clase de exposición Frecuencia	Exposición Exposición a productos sistémicos y mutagénicos

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3-15, el método más completo que incluye variables toxicológicas es el propuesto por el proyecto Europeo *Risk Assessment for Occupational Dermal Exposure to Chemicals* (RISKOFDERM) cuyo software con membresía se encuentra a través de la página web del INSHT (<http://www.insht.es>), sin embargo, la metodología del INRS caracteriza el riesgo por contacto con la piel.

Como se señaló en la Tabla 3-4, la evaluación contempla tres variables, la atribución de la clase de peligro a partir de las frases “R” y “S” equivalentes a las frases “H” por indicación de peligro del inglés “Hazard statement” y “P” por consejo de prudencia del inglés “Precautionary statement”, los valores límites promedios de exposición y la naturaleza del agente químico presentados en la tabla 3-16.

Tabla 3-16. Clase de peligro por contacto dérmico.

Clase de peligro	Puntuación de peligro	Frase R	Pictograma	VLAs mg/m ³	Naturaleza del agente químico
1	1	Ninguna		> 100	
2	10	R36, R37, R38, R36/37, R36/38, R36/37/38, R37/38, R66	 Xi Irritante	10 - 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito / Material de construcción / Talco / Cemento / Composites / Madera de combustión tratada / Soldadura / Metal-Plástico / Vulcanización / Material vegetal-animal
3	100	R20, R21, R22, R20/21, R20/22, R20/21/22, R21/22, R33, R34, R40, R42, R43, R42/43, R48/20, R48/21, R48/22, R48/20/21, R48/20/22, R48/21/22, R48/20/21/22, R62, R63, R64, R65, R67, R68, R68/20, R68/21, R68/22, R68/20/21/22	 Xi Irritante  C Corrosivo	1 - < 10	Soldadura inoxidable / Fibras cerámicas-vegetales / Pintura de plomo / Mueles / Arenas / Aceites de corte y refrigerantes
4	1000	R15/29, R23, R24, R25, R29, R31, R23/24, R23/25, R24/25, R23/24/25, R35, R39/23, R39/24, R39/25, R39/23/24, R39/23/25, R39/24/25, R39/23/24/25, R41, R45, R46, R49, R48/23, R48/24, R48/25, R48/23/24, R48/23/25, R48/24/25, R48/23/24/25, R60, R61	 T Tóxico  C Corrosivo	> 0,1 - < 1	Madera y derivados / Plomo metálico / Amianto y materiales que lo contienen / Fundición y afinaje de plomo / Betunes y breas / Gasolina (carburante)
5	10000	R26, R27, R28, R32, R26/27, R26/28, R27/28, R26/27/28, R39/26, R39/27, R39/28, R39/26/27, R39/26/28, R39/27/28, R39/26/27/28	 T+ Muy tóxico	< 0,1	

Fuente: NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2011.

Resulta menos compleja la asignación de la clase en el momento que se pueden utilizar las fichas de datos de seguridad si no se dispone de más información.

La siguiente variable es la clase de superficie del cuerpo expuesta la cual se evalúa con las siguientes categorías. Tabla 3-17.

Tabla 3-17. Puntuación para asignación de clase de superficie expuesta

Superficies expuestas	Puntuación de superficie
Una mano	1
Dos manos Una mano + antebrazo	2
Dos manos + antebrazo Brazo completo	3
Superficie que comprende los miembros superiores y torso y/o pelvis y/o las piernas	10

Fuente: NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2011

La tercera variable clasifica la frecuencia de exposición y se le asigna puntuación de acuerdo con la tabla 3-18.

Tabla 3-18. Puntuación de frecuencia de exposición.

Frecuencia de exposición	Puntuación de frecuencia
Ocasional: < 30 min/día	1
Intermitente: 30 min - 2 h/día	2
Frecuente: 2 - 6 h/día	5
Permanente: > 6 h/día	10

Fuente: NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2011

Luego de contar con los datos de las Tablas 3-16,17 y 18, estas puntuaciones se multiplican para hallar el riesgo potencial por contacto dérmico a sustancias peligrosas del INRS. Tabla 3-19.

Tabla 3-19. Puntuación del riesgo potencial por contacto dérmico.

Puntuación del riesgo (Peligro x Superficie x Frecuencia)	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probable muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
100 - 1.000	2	Riesgo moderado. Es probable que necesite medidas correctivas y una evaluación más detallada
< 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Fuente: NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2011

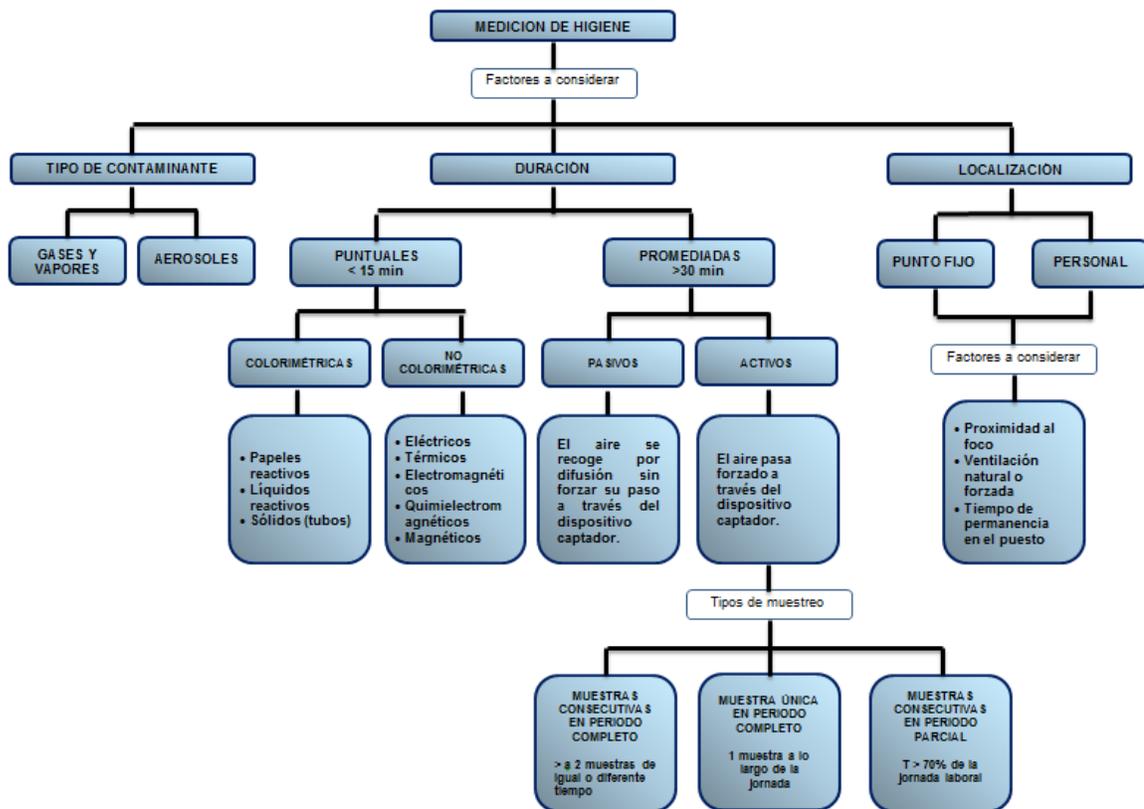
3.4.2 Evaluación cuantitativa

La evaluación cuantitativa de la exposición de los trabajadores a los contaminantes químicos, sirve como parámetro de estimación de la magnitud del riesgo, además de identificar causas que generan el riesgo y cuyo objetivo final está en definir los controles operacionales de acuerdo con los resultados.

Dentro de las causas es necesario realizar un análisis no solo de la presencia del contaminante sino también de las condiciones del puesto de trabajo y las actuaciones por parte de los trabajadores en la manipulación integral de la sustancia química.

Es por ello que para contar con datos fiables es necesario considerar algunas variables como se muestran en la figura 3-13

Figura 3-13. Factores a considerar para mediciones de contaminantes en aire.



Fuente: Adaptado de Instituto Nacional de Salud, Seguridad y Bienestar en el Trabajo de España [internet]. Guía del monitor. Higiene Industrial. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SaludMedicinaDelTrabajoGuiaDelMonitor.pdf> consultado el 30 de Septiembre de 2017 (38)

Si se habla del tipo de contaminante, se debe describir su estado físico como agregado molecular al ambiente de acuerdo con su forma (Tabla 3-20), con el fin de identificar el tipo de método de medición y de cabezales a utilizar en el muestreo, ya que la elección de éste depende de su tamaño de partícula.

Tabla 3-20. Estado físico de los contaminantes químicos según su forma.

Forma	Estado	Procedencia	Tamaño de partícula (μm)	Capacidad de penetración
Polvo	Sólido	Disgregación mecánica	0,1 - 25	Fracción torácica (0,1 – 35 μm)
Nieblas	Aerosoles	Líquido Condensación o desintegración por atomización o ebullición.	0,01 - 10	Fracción respirable (0,1 – 15 μm)
	Bruma	Líquido Condensación	2 - 60	Fracción torácica
Humo	Sólido	Combustión incompleta	Inferior a 0,1	Fracción respirable (0,1 – 15 μm)
Humo Metálico		Condensación de la sublimación de un metal	0,001 - 100	Fracción respirable (0,1 – 15 μm)
Gas	Gas	Estado físico a 25°C y 760 mm Hg	Tamaño molecular 0,0005 – 0,008	Fracción respirable (0,1 – 15 μm)
Vapor	Gas	Fase gaseosa de un líquido o sólido	Tamaño molecular 0,0005 – 0,008	Fracción respirable (0,1 – 15 μm)

Fuente: Adaptado de Fundación MAPRE. Mapfre-Manual-De-Higiene-Industrial. Cuarta edición. Madrid: Editorial MAPRE S.A.;1991. 903 p. (39)

De acuerdo con los factores a tener en cuenta descritos en figura (3-13), la duración de la medición depende del objetivo de muestreo. Si se requiere inspeccionar ambientes cerrados antes de ingresar, detección de fugas y medidas de concentración esporádicas se pueden utilizar los métodos colorimétricos, mientras que si el objetivo es medir concentraciones promediadas en donde se necesite comparar con los TLV-TWA® se deben realizar muestreos activos.

Este tipo de muestreos dependen también de factores ligados al puesto y la jornada de trabajo, debido a las variaciones que pueden sufrir las concentraciones en la jornada y entre diferentes jornadas. Por ejemplo el ritmo de producción y producción total, duración de las tareas dentro del puesto de trabajo, proporción del contaminante en las materias primas y cantidad del agente generado (40). Para esto, se puede clasificar el procedimiento de medición de acuerdo con el objetivo que se tiene (41) en los siguientes tipos:

Mediciones para la evaluación aproximada de la concentración media ponderada en el tiempo. Se utilizan para obtener información cuantitativa aproximada del nivel de exposición para confirmar si existe o no exposición, y si existe determinar la gravedad.

Mediciones para la evaluación aproximada de la variación de concentración en el tiempo y/o en el espacio. Se utilizan para hallar perfiles de concentración de los agentes o períodos de elevada exposición y también, para estimar la eficacia de la ventilación u otras medidas técnicas.

Mediciones próximas a una fuente de emisión. Pueden proporcionar información sobre la localización y la intensidad de la fuente y en combinación con otras informaciones permitir la eliminación de la contribución significativa a la exposición de una fuente sospechosa.

Mediciones para comparar con los valores límite. Proporcionan información exacta y fiable sobre la concentración media ponderada en el tiempo de un agente químico específico en el aire que puede ser inhalado, o bien permiten su predicción.

Mediciones periódicas. Se utilizan para determinar si las concentraciones de exposición han cambiado desde su comparación con los valores límite, o bien para comprobar si las medidas de control continúan siendo eficaces.

Mediciones en el caso más desfavorable. Se utilizan si se tiene identificado claramente el momento donde ocurren las exposiciones más altas por ciertas actividades laborales.

Mediciones en un punto fijo. Pueden ser utilizadas para comparar con los valores límite si los resultados son representativos de la concentración de exposición. De este modo puede plantearse la estimación de la exposición de distintos trabajadores que ocupan un puesto físico de trabajo de manera consecutiva.

Método NIOSH 7600 (33)

- **Principio del Método.** El método se basa en la recolección del aerosol de cromo hexavalente sobre un filtro de PVC, el cual se lava con solución ácida, es llevado a volumen por medio de la adición de una solución que contiene difenilcarbazida que se acompleja con el cromo hexavalente presente, produciendo una coloración violeta que puede ser leída en un espectrofotómetro UV-Vis a 540nm.
- **Aplicabilidad.** El rango de trabajo es de 0,001 a 5 mg/m³ para una muestra de aire de 200L. Este método puede ser usado para la determinación de cromo hexavalente soluble con 0,5 N H₂SO₄ como solución de extracción o cromo hexavalente insoluble con 2% NaOH 3% Na₂CO₃.

3.4.3 Evaluación en el individuo

Método NTP 280 INHST (42)

- **Principio del método.** El método "Determinación de cromo en orina - Método de Horno de grafito/ Espectrofotometría de absorción atómica", es un es un método aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Como método aceptado se entiende un método evaluado por el INSHT, según determinados criterios de validación y que ha sido suficientemente probado mediante ensayos de colaboración entre distintos laboratorios del INSHT.
- **Aplicabilidad.** Las muestras de orina se acidifican y se diluyen con agua destilada. La cuantificación del cromo presente se efectúa por espectrofotometría de absorción

atómica a 357,9 nm, con cámara de grafito y corrección de la radiación inespecífica, frente a una curva de adiciones conocidas.

En el momento en que se usa la técnica de horno junto con un espectrofotómetro de absorción atómica, se adiciona una alícuota representativa de la muestra en el tubo de grafito dentro del horno, la muestra es evaporada, secada, carbonizada, y atomizada. Debido a que un gran porcentaje de los átomos disponibles del analito es vaporizado y disociado para la absorción en el tubo, lo que permite el uso de volúmenes más pequeños de muestra ó la cuantificación de concentraciones más bajas de algunos elementos.

La radiación generada de un elemento excitado dado, pasa a través del vapor que contiene los átomos en estado fundamental del elemento. La intensidad de la radiación transmitida disminuye en proporción a la cantidad de elemento en estado fundamental en el vapor. Los átomos del metal que se va a medir son colocados en el haz de radiación mediante el incremento de la temperatura del horno, en donde es generada de este modo la volatilización del espécimen inyectado. Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco, y un dispositivo fotosensible mide la radiación transmitida atenuada.

4. Metodología

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal que involucró la evaluación cualitativa del riesgo potencial por inhalación y dérmico, la medición de cromo hexavalente en aire dentro del proceso de cromado por medio de Espectrofotometría Ultravioleta Visible EUV-Vis metodología NIOSH 7600 (33), y la determinación de la concentración de cromo total en orina en trabajadores de empresas cromadoras de Bogotá por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito EAA-HG mediante el método NTP 280 INHS (42). Estos análisis cuantitativos se realizaron en el laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en cuatro etapas:

1. Evaluación cualitativa de riesgo por inhalación y dérmico que comprendió la identificación del peligro por medio de análisis de tareas y la aplicación de una metodología de evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III) y dérmica propuesta por el INRS.
2. Determinación de concentración en aire de cromo hexavalente mediante muestreo activo personal por medio de bombas de flujo para captar el aerosol en el ambiente laboral y su posterior análisis por Espectrofotometría Ultravioleta Visible EUV-Vis metodología NIOSH 7600
3. Determinación de la concentración de cromo total en orina por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito EAA-HG mediante el método NTP 280 INHS. La recolección de orina la realizó cada uno de los trabajadores de cada empresa al final de la jornada laboral.

4. Descripción y análisis de los resultados obtenidos a partir de las evaluaciones cualitativas del riesgo por inhalación y dérmico, las concentraciones medidas en los ambientes laborales y en los trabajadores expuestos, comparando concentraciones obtenidas, con los TLV-TWA® y BEI® adoptados en Colombia.

4.1 Selección de la muestra

Universo: Empresas cromadoras de Bogotá reportadas en el censo de la Secretaría Distrital de Salud 2017, mediante solicitud (Anexo A).

Población estudio: Empresas que aceptaron participar en el estudio

Unidad de muestreo: Empresa con empleados cromadores

Unidad de Análisis: Trabajadores cromadores

Se realizó un filtro del censo de la De la Línea Seguridad Química, Subdirección de Vigilancia en Salud Pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, año 2014 a 2017, en donde se aplicaron los siguientes criterios:

- **Actividad económica:** Sección C Industrias Manufactureras, 25 Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo CIIU 2592 Tratamiento y revestimiento de metales, usuarias de ácido crómico. El resultado de aplicación de los criterios se presenta en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Distribución de cromadoras en las localidades de Bogotá D.C. reportados por Secretaría Distrital de Salud.

Empresa Número	Localidad	Numero de operarios	Cantidad utilizada mensual (kg)
1	Ciudad Bolívar	8	125
2	Fontibón	3	130
3	Fontibón	1	5
4	Fontibón	25	2500
5	Fontibón	1	1
6	Fontibón	4	3,5
7	Kennedy	4	150

Empresa Número	Localidad	Numero de operarios	Cantidad utilizada mensual (kg)
8	Kennedy	5	25
9	Kennedy	2	25
10	Kennedy	3	50
11	Mártires	6	50
12	Mártires	3	20
13	Mártires	146	36
14	Mártires	7	50
15	Mártires	3	30
16	Mártires	3	20
17	Mártires	4	10
18	Mártires	2	20
19	Puente Aranda	12	10
20	Puente Aranda	65	50
21	Puente Aranda	7	50
22	Puente Aranda	46	20
23	Puente Aranda	6	15
24	Puente Aranda	4	100
25	Rafael Uribe	5	10
26	Santa Fe	3	1
27	Suba	0	0
28	Suba	24	2

Fuente: Censo Secretaría Distrital de Salud, Línea Seguridad Química, Subdirección de Vigilancia en Salud Pública

- **Depuración.** Se realizaron llamadas telefónicas a cada uno de los establecimientos con el fin de confirmar la existencia y actividad de cada una, e identificar el número de trabajadores, por cada una de las empresas. Resultado en la Tabla 4-2:

Tabla 4-2. Depuración de empresas cromadoras del censo de la SDS Bogotá.

N. DE EMPRESA	LOCALIDAD	OBSERVACIONES
1	Ciudad Bolívar	Trasladada
2	Fontibón	No existe
3	Fontibón	No existe
4	Fontibón	No es Cromadora
5	Fontibón	No es Cromadora

N. DE EMPRESA	LOCALIDAD	OBSERVACIONES
6	Fontibón	No es Cromadora
7	Kennedy	Trasladada
8	Kennedy	Trasladada
9	Kennedy	Cromadora
10	Kennedy	Cromadora
11	Mártires	Cromadora
12	Mártires	Realizan cromo duro
13	Mártires	Cromadora
14	Mártires	Cromadora
15	Mártires	Cromadora
16	Mártires	Cromadora
17	Mártires	No es Cromadora
18	Mártires	Cromadora
19	Puente Aranda	Tercerizaron el proceso
20	Puente Aranda	No es Cromadora
21	Puente Aranda	Cromadora
22	Puente Aranda	Cromadora
23	Puente Aranda	Cromadora
24	Puente Aranda	Cromadora
25	Rafael Uribe	Trasladada
26	Santa Fe	No es Cromadora
27	Suba	No es Cromadora
28	Suba	No es Cromadora

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del contacto realizado con las empresas del listado, se obtuvo un total de 12 empresas que cumplían con los criterios de realizar cromado además de ser usuarias del ácido crómico y en la actualidad desarrollar la actividad económica. Se siguió este estudio bajo un acuerdo de confidencialidad.

Mediante carta de invitación a participar en el estudio (Anexo B) se abordaron las catorce empresas con el fin de motivarlas a participar en el proyecto de investigación. Como resultado de esta invitación en la tabla 4-3 se presenta la respuesta de las empresas.

Tabla 4-3. Empresas cromadoras invitadas a participar en el estudio.

Empresa Número	Localidad	Numero de operarios	Cantidad utilizada mensual (kg)	Aceptación
9	Kennedy	2	25	No Aceptaron
10	Kennedy	3	50	Aceptaron
11	Mártires	6	50	Aceptaron
13	Mártires	146	36	No Aceptaron
14	Mártires	7	50	Aceptaron
15	Mártires	3	30	Aceptaron
16	Mártires	3	20	Aceptaron
18	Mártires	2	20	No Aceptaron
21	Puente Aranda	7	50	Aceptaron
22	Puente Aranda	46	20	No Aceptaron
23	Puente Aranda	6	15	No Aceptaron
24	Puente Aranda	4	100	Aceptaron

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la tabla anterior, las siete empresas que aceptaron participar contaban con un promedio de cuatro trabajadores entre los que se asignan cargos específicos como:

- **Cromador.** Encargado de realizar las tareas de amarre, lavado, desengrase, decapado, cromado y desamarre de piezas.
- **Pulidor.** Encargado de realizar labores de pulido de piezas antes y después del cromado.
- **Auxiliar.** Encargado de realizar tareas de amarre, lavado desengrase, pulido y desamarre de piezas, además de entrega de material de proceso.

Como se definió para el presente proyecto, la unidad de análisis corresponde al cargo de cromador, por lo tanto, solo entraron al estudio los cromadores reportados por las empresas, para quienes se aplicaron los siguientes criterios de exclusión e inclusión:

- **Criterios de inclusión.**
 1. Antigüedad en la labor de seis meses como mínimo.
 2. Participación voluntaria
 3. Firma del consentimiento informado (Anexo C)

▪ **Criterios de Exclusión.**

1. Menores de edad
2. Muestras deterioradas
3. Enfermedades asociadas con daño de riñón.
4. Mujeres embarazadas

4.2 Objetivo 1. Evaluación cualitativa del riesgo potencial

4.2.1 Riesgo potencial por inhalación

Con el fin de analizar la exposición y caracterizar el riesgo, se aplicó una evaluación asociada a la utilización del ácido crómico en cada una de las empresas participantes, por medio de la aplicación de un modelo de evaluación de riesgo (43), que incluye diferentes etapas como se presenta en la tabla 4-4. La primera actividad permite caracterizar la exposición para definir el escenario más desfavorable, en la segunda se proceder a aplicar la metodología que arroja el nivel de riesgo por inhalación propuesta por el INRS.

Tabla 4-4. Etapas y objetivos de evaluación cualitativa del riesgo potencial.

Actividad	Objetivo
1. Evaluación de puesto de trabajo.	1. Identificar los procesos críticos en donde se encuentra la sustancia química a evaluar. 2. Revisión perfil de cargos de procesos críticos identificados.
2. Evaluación cualitativa del nivel de riesgo por inhalación y dérmico metodología de INRS- NTP 937 (35)	2. Realizar análisis de tareas en donde se evalúen las actividades en donde hay contacto con la sustancia a evaluar y las condiciones de trabajo expuestas.

Fuente. Elaboración propia

La evaluación cualitativa de la exposición, se realizó bajo los parámetros de la metodología del INRS (35) para determinación del riesgo potencial por inhalación, al ser esta la vía por la cual ingresa mayormente el cromo hexavalente. Figura 3-11.

4.2.2 Riesgo potencial por contacto dérmico

Así como se evaluó riesgo potencial por inhalación, también se trabajó con la metodología del INRS para evaluar el riesgo potencial por contacto dérmico, teniendo en cuenta que esta es la segunda vía de absorción más importante del cromo hexavalente (43, 15). Siguiendo el esquema presentado en la figura 4-1.

Figura 4-1. Esquema de evaluación de riesgo potencial por contacto dérmico.



Fuente. Elaboración propia, adaptado de NTP 897

La atribución de la clase de peligro a partir de las frases “R” y “S” equivalentes a las frases “H” por indicación de peligro del inglés “Hazard statement” y “P” por consejo de prudencia del inglés “Precautionary statement” del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos SGA (36), los valores límites promedios de exposición y la naturaleza del agente químico presentados son evaluados de acuerdo con la figura 3 4-25. Y la asignación de valores para las variables superficie del cuerpo expuesta y frecuencia de exposición se evalúan con las tablas 3-16 y 3-17 presentadas en el capítulo del marco teórico.

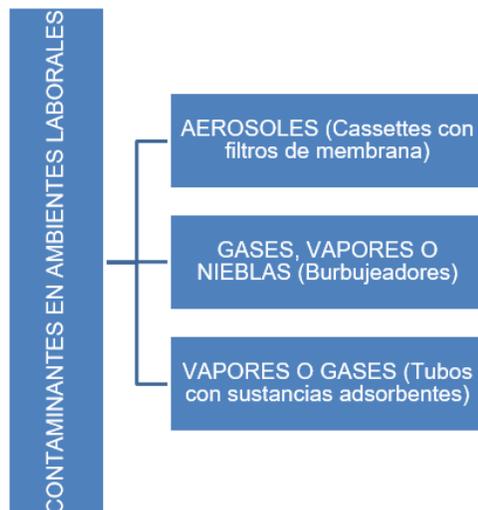
4.3 Objetivo 2. Medición de cromo hexavalente en ambientes laborales

4.3.1 Muestreo de cromo hexavalente en aire

Esta evaluación se realizó con el fin de cuantificar la cantidad de cromo hexavalente que se encontraba presente en un volumen conocido de aire, recolectado a partir de un muestreo personal de los trabajadores en sus puestos de trabajo a quienes se les instaló bombas Guillian® con cassettes con filtro de PVC.

- **Muestreo.** De acuerdo con la estimación de la exposición anterior, se realizó la evaluación de la exposición por medio del muestreo en aire de los trabajadores expuestos al ácido crómico (cromadores) a partir del método NIOSH 7600 que define el tipo de cabezal a utilizar de acuerdo al tipo de agregado molecular a muestrear Figura 4-2, que para este caso corresponde a los cassettes con filtros de membrana.

Figura 4-2. Elección de tipos de cabezales para medición de tipos de agregados moleculares.



Fuente. Adaptado de Instituto Nacional de Salud, Seguridad y Bienestar en el Trabajo de España. Guía del monitor. Higiene Industrial. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SaludMedicinaDelTrabajoGuiaDelMonitor.pdf>. Consultado el 30 de Septiembre de 2017.(38)

- **Materiales y Equipos**

1. Bomba de muestreo digital con rango de medición de 20 a 5000 cm³/min, reguladora de presión y temperatura de batería recargable, aportado por el laboratorio de toxicología ambiental y ocupacional de la maestría de toxicología de la Universidad Nacional de Colombia. Figura 4-3.

Figura 4-3. Bomba de muestreo personal marca Gillian.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

2. Calibrador digital TSI 4100 Series, (Figura 4-4) rango de medición 0.01 a 20 l/min con std de +/- 0.005 a condiciones de temperatura y presión normales, aportado por el laboratorio de toxicología ambiental y ocupacional de la maestría de toxicología de la Universidad Nacional de Colombia.

Figura 4-4. Calibrador digital TSI 4100 Series.

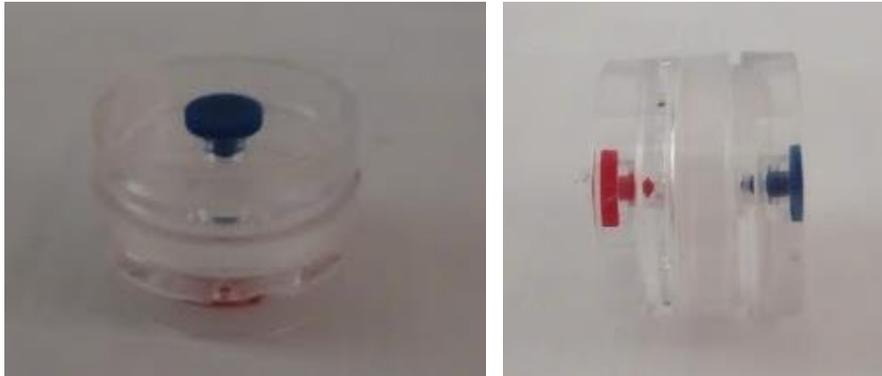


Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

3. Cassettes de poliestireno de 2 cuerpos (inferior y superior) de 37 mm de diámetro.

Figura 4-5.

Figura 4-5. Cassettes de poliestireno.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

4. Filtros de PVC (Policloruro de Vinilo) de 37 mm de diámetro y tamaño de poro de 5,0 μm y portafiltros de celulosa que actúa como soporte físico del filtro. Figura 4-6

Figura 4-6. Filtros y Portafiltros.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

▪ **Técnica de muestreo.**

Se identificó el estado físico del contaminante: Aerosol (agregado molecular líquido)

Tipo de muestra: cromo hexavalente en aire

Cantidad de empleados: 1 por empresa

Laboratorio de análisis: Metodología validada, Laboratorio de Toxicología Universidad Nacional de Colombia. (Espectrofotometría UV VIS) método NIOSH 7600.

▪ **Estrategia de medición.** Para obtener los datos cuantitativos de las exposiciones por medio de las mediciones, se realizó un enfoque en donde se utilizaron de manera eficaz los recursos disponibles y financiados por la Maestría de Toxicología. Por lo anterior y teniendo la caracterización cualitativa del Riesgo elevado por inhalación, en donde claramente se sospecha que los valores superaran a los TLV-TWA®, se realiza confirmación por medio de mediciones en el caso más desfavorable de acuerdo con la norma EN 482: 2012 (41). En donde las mediciones son capaces de identificar los momentos en los que ocurren las exposiciones más altas. Teniendo en cuenta que el volumen de trabajo no es el mismo para todos los días, pues dependen de las piezas que llegan a diario para ser tratadas, además de clasificarse como exposiciones no repetitivas.

Previo acuerdo con las empresas, se agendó el día de la medición, en el cual ellos consideraran que tenían el mayor volumen de trabajo con respecto a los días en que tienen volumen normal y así medir en el caso más desfavorable. Con los siguientes criterios de medición así:

1. Tipo de muestra: Personal, dado que se pretende establecer nivel de exposición y comparar con el biomarcador biológico.
2. Volumen: El establecido por el método NIOSH 7600 se encuentra en un rango de Min 8L, Máx 400l, por lo cual se tomó el máximo como referencia. 400 l
3. Caudal recomendado: 1 – 4 l/min
4. Número de muestras: Se realizará la toma de única muestra bajo criterio de NIOSH Figura 4-8 (45), cubriendo mínimo el 70% de la jornada laboral (8 horas correspondientes a 480 min y a su vez el 70% corresponde a 336 min). Para ello se calibró la bomba con un caudal de 1,2 l/min para muestrear 5,6 horas (336 min) y así obtener el volumen máximo de 400 l.
5. Blancos: 2 por cada muestra

Tabla 4-5. Tamaño mínimo de muestra (n) para incluir (el 90% de nivel de confianza) al menos con un empleado en alto riesgo.

Size of employee group (N)																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	39-29	40-49	50+
Minimum number of measured employees (n)																			
1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22

Fuente. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th Edition, Kevin Ashley, Ph.D. and Paula Fey O'Connor, 2017.

- **Procedimiento de muestreo.**

1. **Calibración.** Con el fin de tomar muestras confiables, se realizó la calibración de las bombas y así conocer el comportamiento del flujo con el tipo de montaje y filtro a utilizar dado que cada uno se comporta de manera diferente a caudal constante Figura 4-7.

Figura 4-7. Calibración de bomba



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Septiembre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

Para esto cada calibración se realizó con los componentes que se utilizan para el muestreo en campo. (mangueras, cassettes y filtros). Con el fin de verificar que el caudal de fuera constante durante todo el tiempo de muestreo, se realizó una calibración de la bomba al finalizar el muestreo. Se halló el rango de aceptación con una diferencia no mayor al 5%. Tabla 4-6.

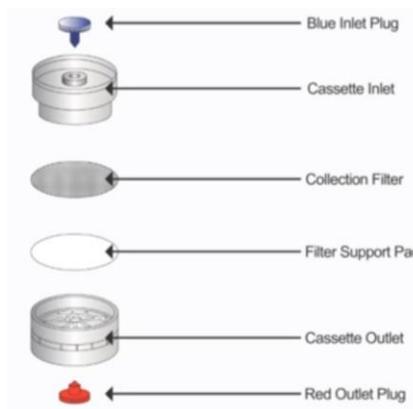
Tabla 4-6. Rango de aceptación obtenido para la toma de muestras de Cr⁺⁶ en aire recolectadas en la investigación.

Muestra	Flujo inicial l/min	Flujo final l/min	Rango de Aceptación
1	1,198	1,203	0,416
2	1,203	1,201	0,249
3	1,195	1,195	0,417
4	1,210	1,210	0,249
5	1,198	1,198	0,167
6	1,196	1,196	0,167
7	1,208	1,208	0,412

Fuente. Elaboración propia

2. **Montaje.** Inicialmente se debe realizar el montaje del tren de muestreo, para ello se monta la unidad de captación como lo muestra la figura 4-8.

Figura 4-8. Montaje de la unidad de captación.



Fuente. Zefon International, Inc., (2013, 6 de Septiembre). Air Sampling Media [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=3_i2ldfYYmM. Consultado 20 de Febrero de 2018.

El montaje final queda de la siguiente manera Figura 4-9.

Figura 4-9. Montaje de unidad de captación.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Septiembre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

Se Ubicó el montaje de muestreo, junto con la bomba personal en la zona de respiración de cada uno de los trabajadores por medio de pinzas, se ajustó la manguera en la espalda del trabajador y la bomba en la cintura asegurada en el cinturón. Figura 4-10.

Figura 4-10 Toma de muestras con cassettes. (10.a) Ajuste de Bomba. (10.b) Ajuste de cassettes en zona de respiración.



(10.a)

(10.b)

Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, septiembre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

- **Identificación y transporte de muestras.** Se siguieron los procedimientos establecidos en el laboratorio de toxicología para toma, transporte, identificación y almacenamiento de muestras, siguiendo las Buenas Prácticas de Laboratorio. La muestra se rotuló con el nombre del participante, fecha y hora de recolección, en bolsas con cierre hermético (figura 4-11). Se utilizó el mismo sistema de codificación tanto para las muestras de orina como para las muestras de aire (figura 4-12). Las muestras fueron transportadas al laboratorio, almacenadas a 4°C para ser procesadas y medidas al día siguiente de la toma de la muestra.

Figura 4-11. Bolsas de cierre hermético para transporte de filtros de muestreo de aire.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Septiembre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

Figura 4-12. (12.a). Codificación de muestras para recepción en el Laboratorio. (12.b). Codificación de muestras para la investigación.



Fuente. Elaboración propia

4.3.2 Medición de concentración de cromo hexavalente en aire

La cuantificación de cromo hexavalente en aire, se llevó a cabo en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, mediante la adaptación del método NIOSH 7600 por espectrofotometría UV-Vis por formación de un compuesto coloreado con 1,5-difenilcarbazida (33), el cual se encuentra validado de acuerdo con las condiciones del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia.

▪ Materiales Reactivos y Equipos

Materiales

1. Filtro de Cloruro de Polivinilo (PVC) con tamaño de poro de 5,0 μ m y 37mm de diámetro contenidos en cassettes de poliestireno de dos piezas.
2. Bomba de muestreo personal, 1-4 l/min, con tubo de conexión flexible.
3. Tubo para centrífuga
4. Balones aforados de 10, 25 y 100 ml, con tapa
5. Pipetas Pasteur
6. Microespátula
7. Micropipetas de 10-100 μ L y 100-1000 μ l.
8. Puntas para micropipeta amarillas (10-100 μ l) y azules (100-1000 μ l)
9. Vasos de precipitado de 10, 50 y 100 ml
10. Celda de cuarzo de 1 cm.
11. Frasco lavador
12. Toallas absorbentes
13. Rotulador indeleble
14. Rótulos para marcar reactivos

Reactivos

1. Ácido sulfúrico concentrado (96%)
2. Ácido sulfúrico 0,5 N
3. Ácido nítrico concentrado
4. Ácido nítrico 5%
5. Agua tipo I
6. Dicromato de potasio sólido R.A.
7. Solución stock de Cr (VI) 100 µg/ml
8. Solución de calibración de 10 µg/ml
9. 1,5-difenilcarbazida R.A.
10. Acetona

Preparación de reactivos

1. Ácido sulfúrico 0,5 N: Diluir 14 ml de ácido sulfúrico concentrado en 1 l, llevar a volumen con agua tipo I.
2. Stock Cr (VI) 100 µg/ml: Pesar 28,3 mg de $K_2Cr_2O_7$ R.A., disolver en H_2SO_4 0,5 N, llevar a volumen en balón aforado de 100 ml.
3. cromo (VI) 10 µg/ml: Medir con micropipeta 1000 µl de solución stock de Cr(VI) 100 µg/ml. Llevar a volumen en balón aforado de 10 mL con H_2SO_4 0,5 N.
4. Difenilcarbazida: Pesar 25 mg de reactivo sólido 1,5-difenilcarbazida, disolver en acetona y agitar con varilla de vidrio, llevar a volumen en balón aforado de 10 ml, en mezcla acetona:agua desionizada 1:1, para esto, es preferible adicionar primero la acetona, y una vez disuelta la difenilcarbazida, llevar a volumen con agua, conservar la relación 1:1.

▪ **Recomendaciones generales.** Todo el material de vidrio se lavó previamente con HNO_3 5% y se secó. La solución de difenilcarbazida se preparó el mismo día de la medición para evitar su oxidación. Los filtros se manipularon con pinzas plásticas, también previamente lavadas con H_2SO_4 0,5 N. La solución stock de Cr^{+6} al ser estable por máximo tres meses, se utilizó durante el tiempo de los análisis. Los residuos del método se desechan como residuo peligroso.

▪ **Método de Análisis**

Técnica	: Espectrofotometría UV-Vis
Analito	: Complejo difenilcarbazida CrO_4^{2-}
Solución Extracción	: H_2SO_4 0,5 N
Longitud de Onda	: 540 nm; 1cm longitud de paso
Calibración	: Solución estándar de K_2CrO_4 en 0,5 N H_2SO_4
Rango	: 0,2 a 7 μg . por muestra
Carga Estimada	: 0,05 μg . Por muestra
Precisión (S_r)	: 0,029 @ 0,3 a 1,2 μg .

▪ **Preparación De La Muestra**

1. Tomar el filtro con pinzas de plástico, y lavarlo con H_2SO_4 0,5N (3 lavados de 2 ml), recogiendo el extracto en un tubo de centrifuga.
2. Centrifugar durante 5 minutos
3. Trasvasar el sobrenadante a un balón aforado de 10 ml, por medio del lavado del tubo de centrifuga con H_2SO_4 0,5N. No exceder de 2 ml.
4. Adicionar 1 ml de solución de difenilcarbazida y llevar a aforo con H_2SO_4 0,5 N.
5. Leer la absorbancia a 540 nm.

▪ **Cálculo de la masa de Cr (VI) en la muestra**

2. Determinar la concentración por medio de la ecuación de la recta (3,2)

$$C(\mu\text{g}/\text{ml}) = \frac{\text{Abs}-b}{m} \quad (3,2)$$

Donde b es el intercepto y m la pendiente de la recta.

3. Calcular la masa en μg , por medio de la relación. Ecuación (3,3)

$$m(\mu\text{g}) = C(\mu\text{g}/\text{ml}) \times V(\text{ml}) \quad (3,3)$$

▪ **Cálculo de concentración en aire**

Con la masa de Cr (VI) de la muestra (W) y del blanco (B), y el volumen de aire (V) muestreado (obtenido del flujo y tiempo de muestreo), aplicar la ecuación (3,4):

$$C(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{W-B}{V} \quad (3,4)$$

4.4 Objetivo 3. Medición de cromo total en orina en trabajadores expuestos

Para la recolección de las muestras objeto del estudio, se utilizó como referencia a la autoridad científico técnica nacional en salud, que corresponde al Instituto Nacional de Salud (INS), con el fin de seguir un estándar que garantizara la calidad, eficiencia y eficacia de los procedimientos realizados en la obtención, envío, transporte y conservación de las muestras para el posterior análisis en el laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá además de seguir los procedimientos establecidos en el laboratorio de toxicología para la rotulación, toma, transporte y almacenamiento de muestras para análisis cumpliendo las Buenas Prácticas de Laboratorio. (46)

4.4.1 Recolección de muestra de orina. (42)

- **Muestra.** Micción de la última hora laboral del último día del turno BEI® ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales). Las muestras fueron recolectadas por duplicado para posterior análisis de Creatinina, el día viernes a partir de las 4 de la tarde, con previo aviso a los trabajadores participantes. Dentro de las recomendaciones realizadas estuvieron contar con un adecuado nivel de limpieza en las manos al momento de tomar la muestra. Con el fin de obtener estas condiciones, a cada uno de los participantes se les suministraron guantes de nitrilo para garantizar que no se contaminara la muestra. Figura 4-13.

Figura 4-13. Recolección de muestras de orina.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Septiembre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

- **Envase y preservante.** Para el análisis de cromo total en orina se utilizaron frascos de plástico (polipropileno) boca ancha y tapa de rosca, herméticos y asépticos con capacidad de 30 ml. sin ningún preservante. Se utilizó nevera portátil de ICOPOR® (poliestireno expandido) Figura 4-14. con pilas de gel refrigerante en su interior para mantener refrigerada la muestra durante la recolección y transporte al laboratorio. Al llegar al laboratorio se mantuvieron congeladas a -40°C . Aunque el embalaje para las muestras no aplica en cuanto a rotulado como lo dicta el Decreto 1609 de 2002 por pertenecer a la categoría de muestras de seres humanos y animales exentas, se aplica el principio de precaución y se etiqueta la nevera.

Figura 4-14. (14.a). Nevera para recolección y transporte de muestras rotulada. (14.b). Pilas de gel refrigerante.



(14.a)

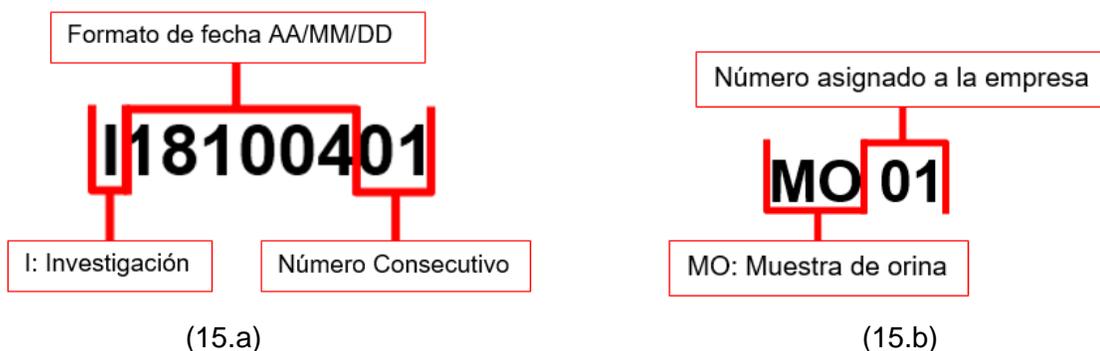


(14.b)

Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

- **Documentos para el envío de las muestras.** La muestra se rotuló con el nombre del participante, fecha y hora de recolección. Adicionalmente para la trazabilidad, calidad y confidencialidad, al ingresar las muestras al laboratorio se les asignó un código de identificación Figura 4-15. Así como también por consideraciones éticas de derecho a la privacidad se asignó un código para el análisis de las muestras con su correspondiente consentimiento informado (Anexo D).

Figura 4-15. (15.a). Codificación de muestras para recepción en el Laboratorio. (15.b). Codificación de muestras para la investigación.



Fuente. Documento del sistema de calidad del laboratorio de Toxicología “manejo de muestras”.

4.4.2 Medición de la concentración de cromo Total en orina.

La utilización del cromo en orina como índice biológico de la exposición laboral ha sido propuesto por la *American Conference of Governmental Industrial of Hygienists* (ACGIH), la NIOSH, la OSHA y otros, en donde se fijan unos valores límites en medios biológicos, que sirven de referencia. La Secretaria Distrital de Salud de Bogotá reporta valores de referencia para población general hasta 10 $\mu\text{g/l}$ y para población expuesta hasta 20 $\mu\text{g/l}$ (17).

▪ Materiales, Reactivos y Equipos

Materiales

1. Balones volumétricos 10 ml y 100 ml
2. Micropipeta 100 μL y 100 – 1000 μl
3. Copas o cubiletes para muestra capacidad de 2 ml y 20 ml
4. Tubos de grafito Piroalizados recubiertos de 28 mm de longitud y 6 mm de diámetro interno.
5. Pipetas Pasteur

Equipos

1. Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito

2. Cilindro para almacenamiento de argón pureza del 99,5%
3. Lámpara de cromo cátodo hueco

Reactivos

1. Estándar de cromo para absorción atómica, Trazable a NIST (National Institute of Standards and Technology Reference Materials) Concentración de 1000 ug/ml de cromo (III), diluido en ácido nítrico.
2. Agua Tipo I, Conductividad < 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mínimo grado 2 de pureza según ISO 3696.
3. Ácido nítrico al 10% Suprapur® Libre de trazas de cromo.

▪ **Procedimiento analítico.** Las muestras de orina del último día de la jornada, recolectadas al final del turno se toman en frascos de polietileno exentos de cromo. Se transportaron en neveras portátiles y posterior mente en refrigerador común. Hasta el momento de efectuar el análisis, las muestras se conservaron refrigeradas a una temperatura máxima de 4°C dado que no se llevó a cabo el análisis el mismo día de la colección.

Todo el material de vidrio utilizado en el análisis, después de su lavado con un detergente neutro, se sumergió varios minutos en ácido nítrico al 10% (V/V) y se enjuagó cuidadosamente con agua.

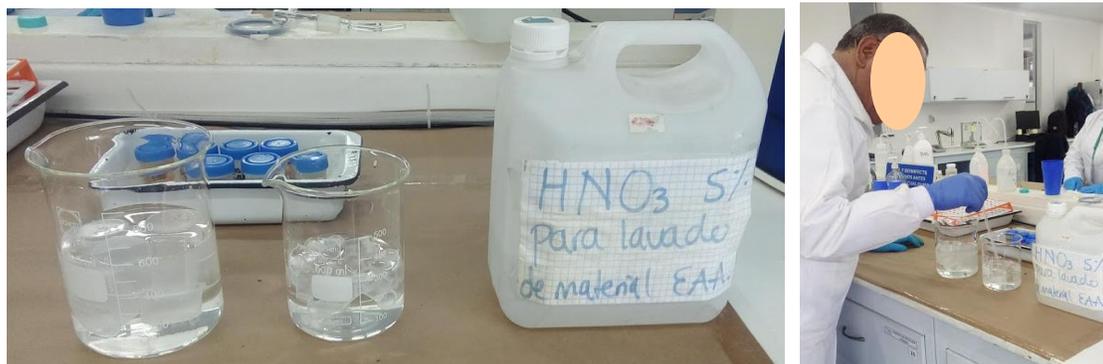
Después de homogeneizar la muestra mediante agitación, se tomó una alícuota de 25 ml.

1. Se depositó 10 μl de ácido nítrico concentrado en una copa de polipropileno.
2. Se añadió 400 μl de agua destilada.
3. Se pipetearon 200 μl de orina con pipeta automática, con la precaución de no arrastrar el posible sedimento depositado en el fondo. Con la misma punta de micropipeta utilizada se removió el contenido del cubilete hasta conseguir una completa homogenización. La muestra así preparada está lista para su introducción directa en el homo de grafito.

▪ **Lavado de material.** Para llevar a cabo el proceso, y garantizar la sensibilidad del método, se realizó el lavado de todo el material a utilizar con HNO_3 al 5% y para la

preparación de la curva de calibración, se realizó purga de los balones con HNO_3 Suprapur®. Figura 4-16.

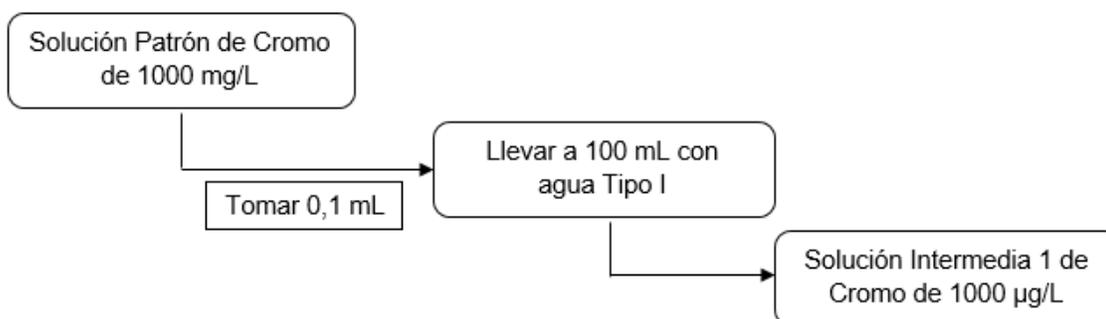
Figura 4-16. Lavado de material para determinación de cromo total en orina por espectrofotometría de absorción atómica Horno de grafito EAA-HG.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

▪ **Preparación de la curva de calibración.** Para la preparación de los estándares de calibración se parte de la Solución Patrón de cromo de $1000 \mu\text{g/ml}$ (mg/l), y se prepara una solución intermedia de 1 mg/l como se representa en la figura 4-17.

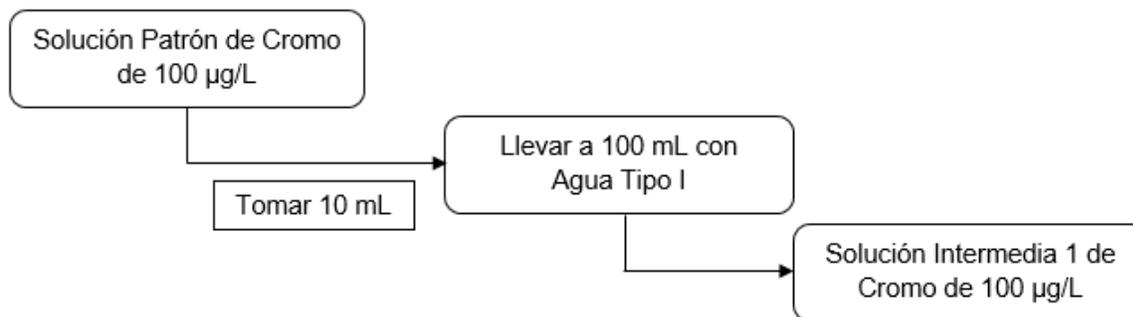
Figura 4-17. Esquema de preparación solución intermedia 1.



Fuente: Adaptado de protocolo de validación cromo total en orina. Laboratorio de toxicología Universidad nacional de Colombia.

A partir de la Solución Intermedia 1 se prepara la Solución Intermedia 2 de $100 \mu\text{g/l}$, como se representa en la figura 4-18.

Figura 4-18. Esquema de preparación solución intermedia 2.



Fuente: Adaptado de protocolo de validación cromo total en orina. Laboratorio de toxicología Universidad Nacional de Colombia.

A partir de la Solución Intermedia 2, se preparan los estándares de calibración de 5, 10 y 20 mg/L de cromo, según lo establecido en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Estándares de calibración curva de medición de cromo total en orina.

Soluciones para la calibración	Concentración declarada de cada estándar de calibración (µg/l)	Volumen de Solución Intermedia de cromo para cada estándar (ml)	Volumen de Dilución (ml)	Diluyente
Blanco	0	0	100	Agua Tipo I
Estándar 1	5	5	100	Agua Tipo I
Estándar 2	10	10	100	Agua Tipo I
Estándar 3	20	20	100	Agua Tipo I

Fuente. Elaboración propia

4.5 Objetivo 4. Descripción de resultados

La metodología utilizada para la evaluación de la determinación cualitativa del nivel de riesgo de inhalación y contacto dérmico al que están expuestos los trabajadores de las empresas cromadoras y la determinación cuantitativa de los niveles de exposición en los

ambientes laborales y en el individuo, se basa en análisis descriptivo de las variables de estudio (Tabla 4-8) cuya información fue recopilada por medio de la aplicación de una encuesta (Anexo D), con información de hábitos de vida, información sociodemográfica y laboral, y adicional la información acerca de los alimentos ingeridos en la última semana, dado que como el biomarcador está dado por cromo total en orina; este mide la suma de cromo trivalente (46,47) (oligoelemento aportado por los alimentos) y cromo hexavalente (aporte ocupacional) con el fin de identificar la existencia de relación entre ellas, puesto que no fue posible utilizar modelos estadísticos por el tamaño muestral y la dispersión de los datos. Esto posibilita el manejo de la información a partir de tablas que facilitan la comprensión de la información.

Tabla 4-8. Variables de estudio

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NATURALEZA	TIPO	CATEGORÍA
Edad	Número de años cumplidos en el momento de la toma de muestra.	Edad en años cumplidos en el momento del reporte.	Cuantitativa discreta	Independiente	Persona
Antigüedad en el cargo	Número de años desempeñados en el cargo de cromador, cumplidos en el momento de la toma de muestra.	Tiempo en años	Cuantitativa discreta	Independiente	Persona
Uso de elementos de protección personal	utilización de elementos de protección personal adecuados de acuerdo con las características de peligrosidad del cromo VI	Uso de epp's: SI / NO	Cualitativa nominal dicotómica	Independiente	Persona
Ventilación puesto de trabajo	Sistema de ventilación existente y en uso en el momento de la toma de la muestra.	Ventilación: SI / NO	Cualitativa nominal dicotómica	Independiente	Lugar
Consumo de tabaco	Fuma cigarrillos en el momento de la toma de la muestra.	Fuma: SI / NO	Cualitativa nominal dicotómica	Independiente	Persona
Número de cigarrillos	Número de cigarrillos que el trabajador fuma al día en el momento	Número de cigarrillos que el trabajador	Cuantitativa discreta	Independiente	Persona

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NATURALEZA	TIPO	CATEGORÍA
	de la toma de la muestra.	fuma al día en números enteros.			
Tiempo de consumo	Número de años que ha consumido cigarrillo en el momento de la toma de la muestra.	Tiempo en años.	Cuantitativa discreta	Independiente	Persona
Enfermedades	enfermedades o síntomas asociados a la manipulación del Cr VI en ojos, piel, boca, nariz, sangre, riñón, alergias reportadas por el trabajador.	Enfermedades: SI / NO ojos, piel, boca, nariz, sangre, riñón, alergias.	Cualitativa nominal dicotómica	Independiente	Persona
Consumo de alimentos	Consumo de alimentos de la última semana (5 días) de alimentos como: Cerveza, cereales, carne, vegetales, mariscos.	Consumo de alimentos: SI / NO	Cualitativa nominal dicotómica	Independiente	Persona
Creatinina en orina parcial	Miligramos sobre litro (mg/l) de Creatinina en orina del trabajador en el momento de la toma de la muestra.	Concentración de creatinina en orina parcial	Cuantitativa continua	Independiente	Persona
Concentración de cromo total en orina	Número en microgramos sobre litro (µg/l) de cromo presentes en la muestra de orina, corregidos con el valor del resultado de creatinina en orina en g/l.	Concentración de cromo total en orina en (µg Cr/g creatinina)	Cuantitativa continua	Dependiente	Persona
Concentración de Cr VI en aire	Número en miligramos sobre metro cúbico (mg/m3) de la cantidad de cromo presentes en la muestra de aire.	Concentración de Cr VI en (mg/m3)	Cuantitativa continua	Dependiente	Lugar

Fuente. Elaboración propia

4.6 Consideraciones éticas

De acuerdo con la resolución 008430 del 4 octubre de 1993 “Por la cual se establecen las normas científicas y técnicas de la investigación en salud” y tal y como reza en su artículo 11, la clasificación de esta investigación se encuentra en la categoría de riesgo mínimo, al considerar que colección de excretas y secreciones externas (39), es un procedimiento común de diagnóstico y de tratamiento rutinario, dado que:

- La población objeto de estudio fueron trabajadores del sector de cromado en edad productiva por lo cual se asume cuentan con buen estado de salud y se confirmaría en el momento que se aplicó la encuesta.
- La frecuencia de la colección de orina fue única de muestra y contramuestra tomadas al mismo tiempo.
- El volumen de orina colectada se realizó en frascos de 30 ml.

Dentro de los aspectos de seguridad presentes en el estudio para minimizar cualquier tipo de riesgos, y con el fin de garantizar el principio de no maleficencia se evitaron daños (físicos, psicológicos y emocionales) al paciente en la colección. Para esto prima la beneficencia en cuanto a comodidad y tranquilidad de los trabajadores por lo cual el procedimiento se realizó en las empresas en un lugar del establecimiento que permita condiciones de asepsia. Así como el cumplimiento de protocolos de bioseguridad en cuanto a los elementos de protección personal del profesional y la disposición adecuada de los residuos de acuerdo con su clasificación según lo estipula la Resolución 1164 de 2002 “Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares” y el Decreto 2981 de 2013 “Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo” en su Capítulo II Artículo 17 Obligaciones de los usuarios para el almacenamiento y la presentación de residuos sólidos.

Se garantizaron los principios éticos de Justicia, puesto que el proceso de selección de la muestra se trabajó con el censo de las empresas cromadoras de Bogotá y no con una muestra a conveniencia, lo que anula cualquier tipo de discriminación. Completa autonomía con la aceptación voluntaria de la participación en la investigación con la firma del consentimiento informado y de respeto por la decisión de querer permanecer dentro de

la misma. Además de reconocer el derecho a la privacidad y al anonimato, de excluirse y/o mantener confidencialidad sobre cualquier información, así como se reglamenta en la Ley estatutaria 1581 de 2012 “por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales”, reglamentada parcialmente por el Decreto nacional 1377 de 2013. Para esto las muestras se rotularon con código de investigación.

En los casos en donde los resultados arrojaron alteraciones en las muestras, se informó a los trabajadores de forma confidencial, para recomendar su atención por parte de la autoridad competente (ARL, EPS, SISBEN).

Se garantizó el cumplimiento del objeto de la Ley Estatutaria 1581 De 2012, en desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos, y los demás derechos, libertades y garantías constitucionales, así como el derecho a la información. (Anexo E)

El Comité de Ética de investigación de la Facultad de Medicina mediante acta de evaluación número 008-149-17 consideró este estudio válido desde el punto de vista ético (Anexo F).

4.7 Propiedad intelectual

El presente trabajo de investigación se acoge a la normatividad de propiedad intelectual enmarcada en el acuerdo número 035 de 2003, acta número 08 del 03 de diciembre de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional de Colombia.

4.8 Declaración de conflicto de interés

Se declara NO tener ningún conflicto de interés que afecte el desarrollo de este estudio.

5. Resultados y discusión

5.1 Resultados

5.1.1 Caracterización de la exposición

- **Determinación del riesgo potencial por Inhalación.** La evaluación cualitativa de la exposición, se realizó bajo los parámetros de la metodología del INRS (35) para determinación del riesgo potencial por inhalación, al ser esta la vía por la cual ingresa mayormente el cromo hexavalente como se presenta en la tabla 5-1.

Tabla 5-1. Resultado del riesgo potencial por inhalación de cromo hexavalente en empresas cromadoras de Bogotá. Método cualitativo NTP 937 INSST

EMPRESA	CLASE DE PELIGRO	CANTIDAD	FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN	CLASE DE EXPOSICIÓN	RIESGO POTENCIAL	VOLATILIDAD	PROCESO DE TRABAJO	PROTECCIÓN COLECTIVA	FACTOR DE CORRECCIÓN	RIESGO POR INHALACIÓN
1	5	2	4	2	1000	100	0,050	0,70	100	350000
2	5	2	4	2	1000	100	0,50	1	100	5000000
3	5	2	4	2	1000	100	0,50	1	100	5000000
4	5	2	4	2	1000	100	0,050	1	100	500000
5	5	2	4	2	1000	100	0,50	1	100	5000000
6	5	2	4	2	1000	100	0,50	1	100	5000000
7	5	2	4	2	1000	100	0,50	1	100	5000000

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla anterior fueron hallados mediante la ecuación (3.1 pág. 49) y de acuerdo con la tabla 3-14 (pág. 51) la prioridad de intervención es 1 dado que la puntuación da como resultado >1000 caracterizando el riesgo como “probablemente muy elevado medidas correctivas inmediatas.

A la clase de peligro se le asignó la puntuación de cinco de acuerdo con la tabla 3-5 (pág. 45), dado que presenta equivalencia por aplicar la frase “H350i Puede provocar cáncer por inhalación” además de presentar un Valor Límite Admisible VLA menor a 0,1 mg/m³.

Para evaluar la clase de cantidad utilizada, se solicitó a cada una de las empresas el dato exacto de las cantidades que utilizan para mantener el baño electrolítico con las condiciones y los porcentajes de sustancias exactos para la calidad del recubrimiento, las cubas galvánicas son fabricadas en fibra de vidrio y tienen dimensiones promedio de 150 cm de largo por 70 cm de ancho y 1 metro de profundidad (Figura 5-1) para las empresas 2, 3 6 y 7. En el caso de las empresas restantes, la configuración de las cubas es cilíndrica para la empresa 1 y 4 (Figura 5-2) y rectangular invertida en la empresa 5, dado que en la empresa se cuenta con tres baños electrolíticos de diferentes dimensiones así: Cuba 1 (85 cm x 85 cm x 300 cm), cuba 2 (150 cm x 100 cm x 120 cm) y cuba 3 (130 cm x 130 cm x 180 cm). El resumen se presenta en la tabla 5-2.

Figura 5-1. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría rectangular para las empresas 2, 3, 6 y 7.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

Figura 5-2. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría cilíndrica. (2.a) empresa 1. (2.b) empresa 2.



(2.a)

(2.b)

Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

Figura 5-3. Cuba galvánica para recubrimiento electrolítico geometría Rectangular invertida.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

Tabla 5-2. Configuración de las cubas de baño electrolítico en cromadoras.

Empresa	N. de cubas	Geometría	Volumen (m ³)	Cantidad de Acido Crómico (Kg/día)	Piezas a recubrir
1	1	Cilíndrica	1,2	1,66	Cilindros
2	1	Rectangular	1	0,13	Autopartes
3	1	Rectangular	1	0,13	Autopartes

Empresa	N. de cubas	Geometría	Volumen (m ³)	Cantidad de Acido Crómico (Kg/día)	Piezas a recubrir
4	3	Cilíndrica	3	2	Maquinaria
5	3	Rectangular invertida	6,7	2,5	Maquinaria
6	1	Rectangular	1	0,13	Autopartes
7	1	Rectangular	1	0,13	Autopartes

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3-6 (pág. 46), asigna una puntuación de dos para un intervalo entre >100 g y < de 10 Kg (35); rango en donde se encuentran las cantidades utilizadas como se resumió en la tabla 5-2. Este rango presenta una amplitud considerable que determina la misma puntuación a la cantidad utilizada en los diferentes escenarios de las empresas objeto de estudio.

Para el caso de frecuencia de utilización, esta variable se ajusta al caso particular de las cromadoras a utilización permanente (Tabla 3-7 pág. 46), si se evalúa en días a la semana puesto que son más de 3. Adicional a lo anterior, se tuvo en cuenta que el cromo hexavalente se encuentra en mezcla listo para ser utilizado en el recubrimiento de la pieza para las empresas 1, 4 y 5, que trabajan las 8 horas laborales y bajo orden de producción. Diferente en el caso de las empresas 2, 3, 6, 7 que croman las piezas de acuerdo con demanda de servicio y a la cantidad de piezas que lleguen diariamente por ser microempresas. El resumen se presenta en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Frecuencia de utilización de cromo hexavalente en Cromadoras.

Empresa	Frecuencia de utilización (Días)	Frecuencia de utilización (horas/día)	Puntuación asignada
1	7	8	4
2	3-5	2-6	4
3	3-5	2-6	4
4	6	8	4
5	6	8	4
6	3-5	2-6	4
7	3-5	2-6	4

Fuente. Elaboración propia

Con los datos anteriores se halló la clase de exposición potencial en la tabla 5-4

Tabla 5-4. Clase de Exposición Potencial a cromo hexavalente en las empresas cromadoras objeto de estudio.

Clase de cantidad						
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	Clase de frecuencia

Fuente. NTP 937

El riesgo potencial se determinó con el peligro potencial y la clase de riesgo potencial como se muestra en la Tabla 5-5. Por lo cual el número asignado fue cuatro al cual le corresponde una puntuación de mil.

Tabla 5-5. Puntuación para la clase de riesgo potencial.

Clase de exposición potencial						
5	2	3	4	5	5	
4	1	2	3	4	5	
3	1	2	3	4	5	
2	1	1	2	3	4	
1	1	1	2	3	4	
	1	2	3	4	5	Clase de peligro

Clase de riesgo potencial	Puntuación de riesgo potencial
5	10.000
4	1.000
3	100
2	10
1	1

Fuente. NTP 937

La volatilidad se calificó en función de la temperatura de trabajo del cromo hexavalente en el baño electrolítico. Cabe aclarar que las condiciones fisicoquímicas de temperatura y densidad de corriente están controladas por medio de un rectificador; por lo cual en el momento que va a ser utilizado el baño electrolítico se debe encender minutos previos para obtener las características del recubrimiento. Descrito lo anterior en las empresas 2, 3, 6, 7 el baño no se encuentra encendido las 8 horas de la jornada laboral puesto que dependen de la demanda de trabajo diaria y mantener el baño encendido representa

costos de ineficiencia. Diferente con las empresas 1, 4 y 5 que, si laboran con orden de producción, por lo cual el baño se encuentra encendido todo el día. (Tabla 5-6)

Tabla 5-6. Operación del baño electrolítico en las empresas.

Empresa	Operación del baño electrolítico	Puntuación asignada
1	Permanente	3
2	Intermitente	3
3	Intermitente	3
4	Permanente	3
5	Permanente	3
6	Intermitente	3
7	Intermitente	3

Fuente. Elaboración propia

La puntuación asignada para la clase de procedimiento, corresponde para la empresa 1 y 4 a Cerrado/abierto (Tabla 3-11 pág. 49) dado que se tiene implementada una estrategia de producción más limpia que consiste en cubrir sobre la superficie del baño con una capa de esferas de ICOPOR® (poliestireno expandido), y tapas en los baños respectivamente para evitar la emisión de vapores manteniendo controlada la emisión de vapores mientras se realiza el proceso (Figura 5-4). Las empresas 2, 3, 5, 6 y 7 tienen las cubas de tratamiento totalmente abiertas (Figura 5-5)

Figura 5-4. (4.a) Tanque de Cromado empresa 1. (4.b) Tanque de Cromado empresa 4. Procedimiento de trabajo semicerrado.



(4.a)

(4.b)

Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

Figura 5-5. (5.a) Tanque de Cromado empresa 3. (5.b) Tanque de Cromado empresa 6. (5.c) Tanque de Cromado empresa 7. Procedimiento de trabajo abierto.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

La clase de protección colectiva se refiere a la configuración de las condiciones locativas para la ventilación natural o mecánica. En este aspecto, solo la empresa 1 cuenta con un sistema de ventilación mecánica (Figura 5-6). Las empresas restantes se ubican en un recinto con una altura promedio de 5 metros entre piso y techo excluyendo a la empresa 3 que tiene una altura de 2 metros, lo cual aporta porcentaje de ventilación natural. (Figura 5-7).

Figura 5-6. Ventilación mecánica empresa 1.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

Figura 5-7. Ventilación natural en empresas cromadoras. (7.a) Empresa 2. (7.b) Empresa 3. (7.c) Empresa 4. (7.d) Empresa 5. (7.e) Empresa 6. (7.f) Empresa 7



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

Tabla 5-7. Puntuación para clase de protección colectiva.

Trabajo en espacio con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable		Ausencia de ventilación mecánica	
Clase 5, puntuación = 10		Clase 4, puntuación = 1	
Trabajos en intemperie	Trabajador alejado de la fuente de emisión	Ventilación mecánica general	
Clase 3, puntuación = 0,7			
Campana superior	Rendija de aspiración	Mesa con aspiración	Aspiración integrada a la herramienta
Clase 2, puntuación = 0,1			
Cabina de pequeñas dimensiones ventilada	Cabina horizontal	Cabina vertical	Captación envolvente (vitrina de laboratorio)
Clase 2, puntuación = 0,1		Clase 1, puntuación = 0,001	

Fuente. NTP 937

El valor de FC_{VLA} , se aplicó para corregir el valor y no subestimar el riesgo que tiene la sustancia de incorporarse en el ambiente, y se realizó de acuerdo con la puntuación asignada como se muestra en la tabla 5-8 teniendo como referencia el TLV-TWA® de 0,0002 (mg/m³).

Tabla 5-8. Factor de corrección en función de VLA

VLA	FC_{VLA}
VLA > 0,1	1
0,01 < VLA ≤ 0,1	10
0,001 < VLA ≤ 0,01	30
VLA ≤ 0,001	100

Fuente. NTP 937

De esta manera se aplicó la ecuación 5-1 y la caracterización del riesgo se determinó tal y como se describe en la figura 5-9.

Tabla 5-9. Caracterización del riesgo por inhalación de cromo obtenida para las empresas de cromadoras.

Puntuación del riesgo por inhalación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probablemente muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
> 100 y ≤ 1.000	2	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones)
≤ 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

Fuente. NTP 937

- **Riesgo potencial por contacto dérmico.** Así como con la evaluación de riesgo potencial por inhalación, se trabajó la metodología del INRS para evaluar el riesgo potencial por contacto dérmico, teniendo en cuenta que esta es la segunda vía de absorción más importante del cromo hexavalente (44,15)

La asignación del puntaje para la clase de peligro que presentaron las cromadoras, fue de cinco teniendo en cuenta la equivalencia y las frases “R” y “H” y el TLV-TWA® adoptado por Colombia.

Para la clase de superficie expuesta, se asignó puntuación de tres (dos manos + brazo). Como se presenta en la figura 5-8, la ropa de dotación es de material grueso y cubre el brazo hasta la muñeca, además de utilizar delantal industrial de PVC y guantes de látex para ácidos; por lo cual existe una medida de protección de la exposición de área de la piel a los aerosoles del cromo hexavalente. Sin embargo, la higiene de manos y antebrazos es deficiente puesto que los trabajadores no tienen el hábito de lavado de manos. Adicional a lo anterior la ropa de trabajo no es lavada con regularidad (final de la semana), por lo cual realizan el cambio de ropa de trabajo cada mes. Finalmente teniendo en cuenta que utilizan botas de caucho y el delantal, en teoría no aplicaría contacto con el pecho y los miembros inferiores, pero se debe tener en cuenta la impregnación en la piel por contacto con ropa contaminada por deficientes prácticas de limpieza de la ropa de trabajo.

Figura 5-8. Superficie de cuerpo expuesta de trabajadores en cromadoras. (8.a) Empresa 1. (8.b) Empresa 2. (8.c) Empresa 3. (8.d) Empresa 4. (8.e) Empresa 5. (8.f) Empresa 6. (8.g) Empresa 7.



(8.a)

(8.b)

(8.c)

(8.d)



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google fotos derlyjohannapb@gmail.com

Las puntuaciones asignadas se multiplicaron para hallar el riesgo potencial por contacto dérmico que tienen los trabajadores expuestos al cromo hexavalente según el INRS tal y como se presenta en la tabla 5-10, que para este caso es “*Riesgo probable muy elevado. Medidas correctivas inmediatas*”.

Tabla 5-10. Resultados de la evaluación de riesgo potencial por contacto dérmico con Acido Crómico en cada una de las empresas participantes.

EMPRESA	CLASE DE PELIGRO	SUPERFICIE DE CONTACTO	FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN	RIESGO POR CONTACTO DÉRMICO
1	10000	3	5	150000
2	10000	3	5	150000
3	10000	3	5	150000
4	10000	3	5	150000
5	10000	3	5	150000
6	10000	3	5	150000
7	10000	3	5	150000

Fuente. Elaboración propia

5.1.2 Medición de cromo hexavalente en ambientes laborales

La determinación de cromo hexavalente soluble en muestras de aire, se realizó por medio de espectrofotometría UV-Vis por formación de un compuesto coloreado con 1,5-difenilcarbazida. Validado y adaptado a los requerimientos del Laboratorio de Toxicología.

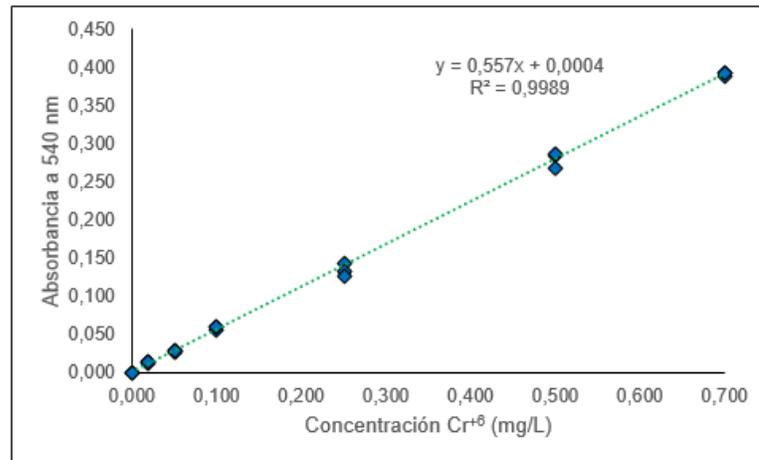
- **Curva de calibración.** Se preparó una curva de calibración de 6 niveles, con 3 réplicas cada nivel, además de dos blancos, para un total de 20 preparaciones. La curva se preparó según lo indicado en la Tabla 5-11 y el resultado se presenta en la Figura 5-9, con un R^2 de 0,9989.

Tabla 5-11. Concentraciones de la curva de calibración.

Cr⁺⁶ (mg/l)	V_f (ml)	V_i Cr⁺⁶10 µg/mL (ml)	Vi Cr⁺⁶10 µg/mL (µl)	DPC (ml)
0,000	5	0	0	0,5
0,020	5	0,010	10	0,5
0,050	5	0,025	25	0,5
0,100	5	0,050	50	0,5
0,250	5	0,125	125	0,5
0,500	5	0,250	250	0,5
0,700	5	0,350	350	0,5

Fuente. Elaboración Propia

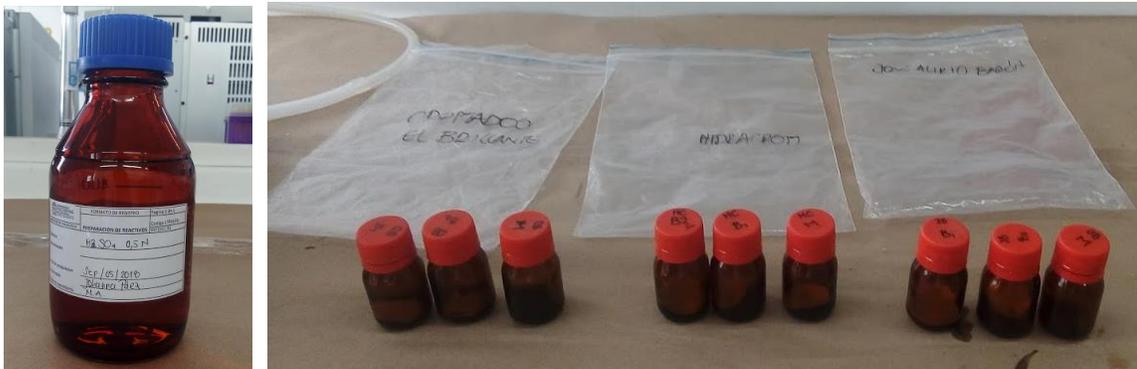
La difenilcarbazida se agregó al final, antes de llevar a volumen. Se esperó 10 min para desarrollo de color y se leyó en el espectrofotómetro UV-Vis a 540 nm, el máximo de absorbancia se determinó con la concentración más alta de la curva, en modo SCAN del espectrofotómetro y mediante un barrido de 500 a 600 nm. Las lecturas se registraron en el equipo y en Excel, para posterior análisis estadístico.

Figura 5-9. Curva de calibración para determinación de cromo hexavalente en aire.

Fuente. Validación de metodología para la determinación de cromo hexavalente soluble por el método NIOSH 7600.

- **Preparación de la muestra.**

1. Se abrieron los cassettes y se retiró el filtro con pinzas de plástico almacenándolo en un frasco de vidrio ámbar para realizar el lavado con H₂SO₄ 0,5 N (3 lavados de 2 ml), recogiendo así el extracto. Figura 5-10.

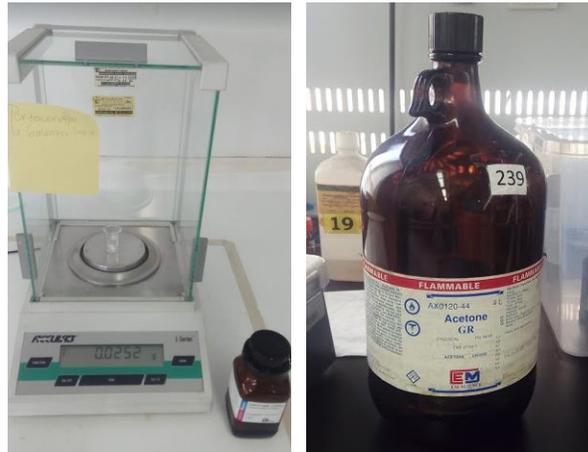
Figura 5-10. Lavado de filtros con H₂SO₄ 0,5 N

Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

2. Se trasvasó el sobrenadante a un balón aforado de 10 ml, con el frasco de vidrio previamente lavado con H₂SO₄ 0,5 N.

3. Se preparó la difenilcarbazida con 25 mg a solución de acetona agua y se llevó a volumen de 10ml. Figura 5-11.

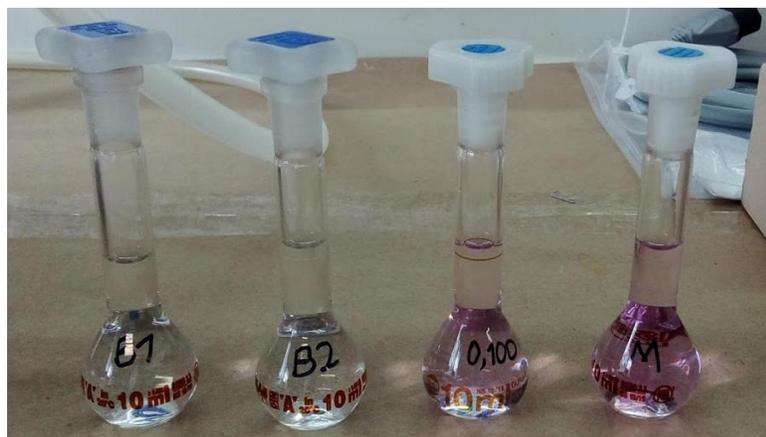
Figura 5-11. Preparación de difenilcarbazida.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

4. Se adicionó 1 ml de solución de difenilcarbazida y se llevó a aforo con H_2SO_4 0,5 N. hasta obtener el cambio de coloración por el complejo que se forma entre la solución y la presencia de cromo hexavalente en la muestra. Figura 5-12.

Figura 5-12. Complejo difenilcarbazida cromo hexavalente.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

5. Se transfirió la solución de la muestra a la celda y se midió la absorbancia a 540 nm.

Se realizaron los cálculos para hallar la concentración en aire de acuerdo con lo expuesto en marco teórico.

A continuación, en la tabla 5-12 se presentan los resultados de las concentraciones medidas en las muestras de aire inhalado de los trabajadores de las cromadoras participantes en la investigación cuyo resultado indica que todas las empresas superan el TLV-TWA® establecido para Cr⁺⁶ de 0.0002. mg/m³.

Tabla 5-12. Resultado de la medición de cromo hexavalente en ambientes laborales de las cromadoras.

Trabajador de empresa	Concentración Cr VI en Aire dato bruto (mg/l)	Concentración Cr VI en Aire Blanco (mg/l)	Masa de Cr VI en el filtro de muestra (mg)	Masa de Cr VI en el filtro del blanco (mg)	Concentración Cr VI en Aire final (mg/m ³)
1	0,018919	0,007785	0,00018919	0,00007785	0,0002761
2	0,020355	0,000242	0,00020355	0,00000242	0,0004988
3	0,077642	0,004193	0,00077642	0,00004193	0,0018217
4	0,023408	0,002756	0,00023408	0,00002756	0,0005122
5	0,020714	0,006707	0,00020714	0,00006707	0,0003474
6	0,171383	0,003295	0,00171383	0,00003295	0,0041688
7	0,024486	0,002577	0,00024486	0,00002577	0,0005434

Fuente. Propia

5.1.3 Medición de cromo total en orina de cromadores

La cuantificación de cromo total en orina se llevó a cabo en el Laboratorio de Toxicología de la facultad de medicina de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, mediante la adaptación del método NTP 280 INHS (42), el cual se encuentra validado de acuerdo con las condiciones del laboratorio.

- **Preparación de la curva de calibración.** Para la preparación de los estándares de calibración se parte de la Solución Patrón de cromo de 1000 µg/ml (mg/l), y se prepara una solución intermedia de 1 mg/l.

A partir de la Solución Intermedia 1 se prepara la Solución Intermedia 2 de 100 µg/l. A partir de la Solución Intermedia 2, se preparan los estándares de calibración de 5, 10 y 20 mg/L de cromo, según lo establecido en la Tabla 5-13.

Tabla 5-13. Estándares de calibración curva de medición de cromo total en orina.

Soluciones para la calibración	Concentración declarada de cada estándar de calibración (µg/l)	Volumen de Solución Intermedia de cromo para cada estándar (ml)	Volumen de Dilución (ml)	Diluyente
Blanco	0	0	100	Agua Tipo I
Estándar 1	5	5	100	Agua Tipo I
Estándar 2	10	10	100	Agua Tipo I
Estándar 3	20	20	100	Agua Tipo I

Fuente. Elaboración propia

Cada uno de los estándares se prepara según lo establecido. Figura 5-13.

Figura 5-13. Estándares de curva de calibración.



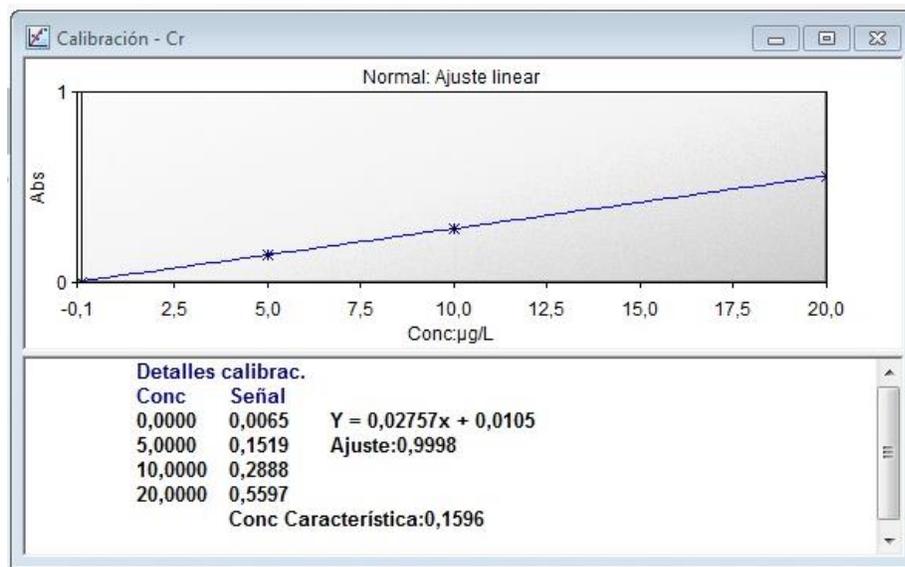
Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

Patrones de adición. Se preparan añadiendo a las copas, que contienen cada uno 10 µl de ácido nítrico Suprapur®, 200 µl de agua tipo I, 200 µl de orina de bajo contenido en cromo y 200 µL de las disoluciones de trabajo preparadas. Las concentraciones de los patrones de adición así obtenidos son de 0,005; 0,01 y 0,02 µg de Cr por ml de orina (5,10 y 20 µg/l).

Blanco de orina. Se añade a la copa 10 µl de ácido nítrico Suprapur®, 400 µl de agua tipo I y 200 µl de la orina utilizada para preparar los patrones de adición.

Blanco de reactivos. Se deposita en la copa, 10 µl de ácido nítrico Suprapur® y 600 µl de agua tipo I.

Figura 5-14. Parámetros de curva de calibración.



Fuente. Data del Equipo ICE 3400 (SOLAAR®)

- **Cálculos.** El software del Equipo ICE 3400 (SOLAAR®) interpola la señal obtenida de la muestra, en la respectiva curva de calibración activa, y finalmente genera el resultado en µg/L de cromo en orina. Para esto se prepararon las siete muestras de acuerdo con el método descrito en marco teórico. Figura 5-15.

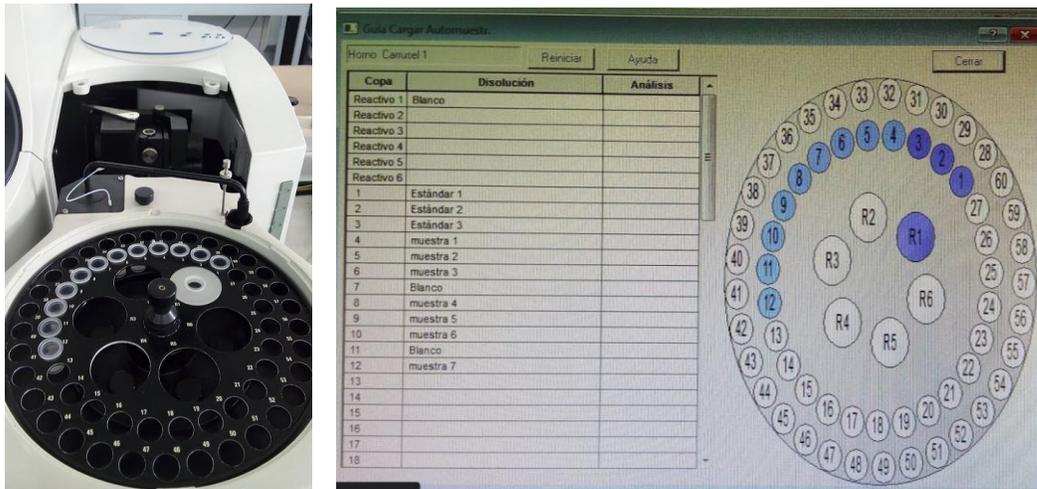
Figura 5-15. Preparación de las muestras de orina.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com

Luego se ordenan en el carrusel del equipo para su medición y se ajustan los parámetros de medición con respecto a los blancos. Figura 5-16.

Figura 5-16. Ajuste de las copas de muestreo en el equipo para medición.



Fuente. [Fotografía de Johanna Páez]. (2018, Octubre). Google Fotos derlyjohannapb@gmail.com.

En la Tabla 5-14 se presentan los resultados de las concentraciones de cromo total en orina que se obtuvieron del análisis de las muestras tomadas a los trabajadores.

Tabla 5-14. Concentración en $\mu\text{g/l}$ de cromo total en orina en muestras objeto de estudio y su corrección por g de creatinina.

Trabajador de Empresa	Concentración Cr Total en Orina ($\mu\text{g/l}$) sin dilución	Factor de dilución	Concentración Cr Total en Orina ($\mu\text{g/l}$)	Concentración Creatinina en Orina parcial (mg/l) 39 - 259	Concentración Creatinina en Orina parcial (g/l)	Corrección por creatinina ($\mu\text{g de Cr/g Creatinina}$)
1	0,5563	1	0,5563	224,9	2,249	1,2511187
2	1,7736	1	1,7736	129,3	1,293	2,2932648
3	4,0572	1	4,0572	112,4	1,124	4,5602928
4	5,3664	4	21,4656	337,2	3,372	72,3820032
5	7,1229	4	28,4916	199,2	1,992	56,7552672
6	12,2231	1	12,2231	103,2	1,032	12,6142392
7	1,9453	1	1,9453	75,8	0,758	1,4745374

Fuente. Data del Equipo ICE 3400 (SOLAAR ®)

5.2 Discusión

5.2.1 Limitaciones del estudio

Durante el desarrollo del trabajo de campo del presente estudio se presentaron las dificultades que se enumeran a continuación en cuanto a la obtención del tamaño de la muestra.

- **Base de datos.** El censo suministrado por la Secretaría Distrital de Salud de la Línea de Seguridad Química, con el cual se realizó la convocatoria inicial no correspondía con la realidad al tipo de actividad económica objeto de estudio, puesto que presentaba incoherencia en el reporte de la sustancia (ácido crómico) en actividades en donde no se utiliza, además se encontraron empresas en donde la dirección no existía o se habían trasladado. Tabla 5-15.

Tabla 5-15. Descripción de convocatoria.

Número de cromadoras reportadas en el censo de la SDS	Número de empresas que no correspondían a cromadoras	Número de empresas trasladadas	Número total de cromadoras convocadas	Número de empresas que aceptaron participar
28	9	5	14	7

Fuente: Elaboración propia

- **Rechazo en la participación estudio.** Inicialmente el número de empresas que se interesaron en participar fue de once de las catorce convocadas, pero al momento de iniciar los muestreos, se retractaron de participar y manifestaron: No contar con tiempo, temor a los resultados obtenidos y rechazo por parte del cromador al montaje del tren de muestreo, reduciendo el número de empresas participantes a siete.
- **Mantenimiento de bombas de muestreo.** Al iniciar el trabajo de campo para la recolección de muestras de aire se realizó una solicitud de mantenimiento de las bombas de muestreo de la maestría obteniendo como resultado la necesidad de cambiar los repuestos de todas, por lo cual se tuvo que recurrir al alquiler de una bomba con las mismas características, hecho que limitó el número de muestreos a realizar en cada empresa reduciéndolo solo a uno debido al costo adicional no contemplado en el presupuesto inicial de la investigación.

5.2.2 Comparación de la exposición vs Medición de cromo hexavalente en aire

De acuerdo con la evaluación del riesgo potencial por inhalación y contacto dérmico obtenido, a continuación, se realiza interpretación de cada una de las variables que hacen parte de la metodología con el fin de identificar una relación frente a los resultados obtenidos en las mediciones de cromo hexavalente en los ambientes laborales de las empresas cromadoras objeto de estudio y su comparación con los TLV-TWA® adoptados por Colombia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación cualitativa de riesgo potencial por inhalación, contacto dérmico y la evaluación cuantitativa de cromo hexavalente en aire, se analizan las siguientes variables (Tabla 5-16), teniendo en cuenta que éstas son las que afectan directamente en la concentración del cromo en el aire.

Tabla 5-16. Relación de resultados de la evaluación potencial de riesgo con la concentración medida de cromo en aire.

EMPRESA	CANTIDAD DE ACIDO CRÓMICO (KG/DÍA)	FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN	OPERACIÓN DEL BAÑO ELECTROLÍTICO	VENTILACIÓN	CONCENTRACIÓN Cr VI EN AIRE (mg/m ³) TLV-TWA® 0,0002
1	1,66	Permanente	Intermitente	Mecánica	0,0002761
2	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	0,0004988
3	0,13	Permanente	Permanente	Natural	0,0018217
4	2	Permanente	Permanente	Natural	0,0005122
5	2,5	Permanente	Intermitente	Natural	0,0003474
6	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	0,0041688
7	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	0,0005434

Fuente. Propia

Todos los resultados de la medición de cromo hexavalente en aire superan los TLV-TWA® adoptados por Colombia.

La empresa 6 es la que mayor concentración de cromo hexavalente en aire presenta seguida de la empresa 3 y 7. Estas se encuentran categorizadas como microempresas y sus procesos son más de tipo artesanal. La empresa 2 se incluye en esta categoría. Además de ser microempresas, estas se muestrearon teniendo en cuenta el escenario más desfavorable (numeral 3.4.2) hubo acumulación de piezas a recubrir en promedio de dos días. Por lo cual la exposición estuvo más alta que en los días de actividad laboral normal.

En el caso de la empresa 3 que es la segunda empresa con concentración alta, se podría atribuir el resultado a la altura del techo (aproximadamente 4m) ya que se pueden concentrar aún más los aerosoles en el espacio de cromado. La empresa 6 el día de la medición tenía dos días de trabajo acumulado; por lo cual se puede establecer un valor aproximado para un día con alta producción.

La empresa 1 arrojó la menor concentración de cromo hexavalente en aire, seguida de la empresa 5 y 4. Las características generales de estas empresas es que son medianas empresas y tienen más tecnificado el proceso, además de trabajar un poco más en seguridad e higiene industrial. En el caso de la empresa 1 con menor concentración se puede atribuir el resultado a el sistema de ventilación mecánica con el que cuenta el puesto de trabajo, además de la práctica operativa de cubrir la superficie con una capa de esferas de ICOPOR® (poliestireno expandido); Así como la empresa 4 quien también tiene su proceso abierto/cerrado. En el caso de la empresa 5 los tanques son rectangulares e invertidos; por lo cual el área de abertura de las cubas al ambiente es más pequeña en comparación con la de las microempresas.

5.2.3 Comparación de la exposición vs concentración de cromo Total en orina

Dentro de los factores que determinan la gravedad del efecto, se debe considerar la susceptibilidad del individuo. Los datos se presentan en la tabla 5-17.

La edad promedio de los trabajadores se encuentra en 40 años, y la antigüedad en el cargo alrededor de los 18 años. El 28,5% fuma con consumo de 4 a 6 cigarrillos al día. El consumo de alcohol es de 57% con promedio de 6 cervezas en la semana.

En cuanto a las variables derivadas de la dieta, se identifica que el 100% de los trabajadores consumen cereales el 85% carne y solo el 57% consume vegetales.

La comparación entre las variables de persona con el resultado de cromo total en orina, se presentan en la tabla 5-18 y la única relación que se puede identificar es el tiempo en años de antigüedad en el cargo. Dado que los dos trabajadores con cromo total en orina superior al BEI® (25 µg/L) son los que menos tiempo se han desempeñado en el cargo. En el caso del trabajador de la empresa 4, se obtuvo el valor tres veces superior con respecto al nivel, mientras que el valor en el trabajador de la empresa 5 se duplicó.

Tabla 5-17. Datos tabulados de la encuesta a los trabajadores.

Trabajador de empresa	Edad (Años)	Antigüedad en el cargo (Años)	Uso de EPP'S	Ventilación puesto de trabajo	Consumo de tabaco	Número de cigarrillos	Tiempo de consumo (Años)	Enfermedades							Consumo de alimentos (última semana)				
								Ojos	Piel	Boca	Nariz	Sangre	Riñón	Alergias	Cerveza	Cereales	Carne	Vegetales	Mariscos
1	36	12	SI	NO	NO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO
2	40	20	NO	NO	SI	6	20	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
3	47	30	NO	NO	NO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
4	42	0,75	NO	NO	NO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
5	29	5	SI	NO	NO	0	0	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
6	70	40	NO	NO	NO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
7	44	24	NO	NO	SI	4	7	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO

Fuente. Propia

Tabla 5-18. Relación de resultados de la evaluación potencial de riesgo con la concentración medida de cromo total en orina.

Trabajador de empresa	Edad (Años)	Antigüedad en el cargo (Años)	Uso de EPP'S	Consumo de tabaco	Consumo de alimentos					Creatinina en orina parcial (mg/dL) 39 - 259	Concentración de Cromo total en orina (µg de Cr/g Creatinina)
					Cerveza	Cereales	Carne	Vegetales	Mariscos		
1	36	12	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	224,9	1,2511187
2	40	20	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	129,3	2,2932648
3	47	30	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	112,4	4,5602928
4	42	0,75	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	337,2	72,3820032
5	29	5	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	199,2	56,7552672
6	70	40	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	103,2	12,6142392
7	44	24	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	75,8	1,4745374

Fuente. Propia

*Rango normal de Creatinina en parcial de orina

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación cualitativa de riesgo potencial por inhalación y contacto dérmico y con los resultados obtenidos de la evaluación de cromo total en orina en los trabajadores, se compararon (Tabla 5-19), teniendo en cuenta que éstas son las que afectan directamente en la concentración hallada en los individuos que participaron en el estudio.

Tabla 5-19. variables que intervienen en el riesgo de exposición vs concentración de cromo total en orina en cromadores.

EMPRESA	CANTIDAD DE ACIDO CRÓMICO (Kg/Día)	FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN	OPERACIÓN DEL BAÑO ELECTROLÍTICO	VENTILACIÓN	SUPERFICIE DE CONTACTO	CONCENTRACIÓN CREATININA EN ORINA PARCIAL (mg/dL) 39 – 259*	CONCENTRACIÓN Cr TOTAL EN ORINA (µg de Cr/g Creatinina)
1	1,66	Permanente	Intermitente	Mecánica	Dos manos antebrazo	224,9	1,2511187
2	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	Dos manos antebrazo	129,3	2,2932648
3	0,13	Permanente	Permanente	Natural	Dos manos antebrazo	112,4	4,5602928
4	2	Permanente	Permanente	Natural	Dos manos antebrazo	337,2	72,3820032
5	2,5	Permanente	Intermitente	Natural	Dos manos antebrazo	199,2	56,7552672
6	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	Dos manos antebrazo	103,2	12,6142392
7	0,13	Permanente	Intermitente	Natural	Dos manos antebrazo	75,8	1,4745374

Fuente: Elaborada por el autor

Al realizar la comparación de las diferentes variables, la primera en revisar es el funcionamiento del riñón por medio de la creatinina en orina cuyos niveles normales se encuentran en el rango de 39 – 259 mg/dl (49). Lo que refleja que el trabajador de la empresa 4 presenta un resultado anormal de creatinina en orina con 337,2. Esta anomalía, puede alterar el resultado final de la concentración de cromo total en orina aumentándolo.

El análisis entre las variables de concentración de cromo total en orina y la antigüedad en el cargo; podría establecer relación, puesto que las concentraciones que se encuentran fuera del valor de referencia se determinaron en los dos trabajadores que llevan menos de cinco años en comparación con los demás trabajadores que participaron en el estudio, que en promedio se encuentra en 22 años. Adicional a lo anterior, en la variable edad también se identifica relación para las concentraciones más altas, obtenidas por los de menor edad (29 años con respecto al promedio que se encuentra en 46 años).

De acuerdo con el estudio realizado por el Safty (50) no se muestra correlación entre la edad y la concentración de cromo en orina pero si puede haber una asociación con la edad temprana de exposición como factor de riesgo de cáncer de pulmón (47).

La siguiente variable que presenta relación con la concentración es el consumo de cerveza, puesto que en la semana de la toma de muestra los dos trabajadores que superan el BEI®, habían ingerido de seis a ocho cervezas de 300 cm³, pero de acuerdo con un estudio realizado en trabajadores de cromado electrolítico, el consumo de alcohol no afecta significativamente en la concentración de cromo en orina como el consumo de tabaco (48).

Otra variable importante que afecta significativamente la concentración de cromo total en orina está determinada por la cantidad de ácido crómico utilizada mensualmente, puesto que los trabajadores de que superan los BEI®, son las que mayor cantidad de Acido Crómico utilizan al mes. Información relevante dado que la vida media de eliminación del cromo depende de la vía de exposición puede variar entre 7 h, 15–30 días y 3–5 años (11).

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se implementó una metodología cualitativa para estimar el riesgo potencial por inhalación y contacto dérmico de los trabajadores que realizan cromado de piezas metálicas en las empresas objeto de estudio. En total el estudio se realizó en las condiciones laborales de siete empresas ubicadas en Bogotá en la localidad de los Mártires, Puente Aranda y Kennedy. Los resultados obtenidos tanto para el riesgo potencial por inhalación como el asociado al contacto dérmico que tienen los trabajadores expuestos al cromo hexavalente, fue *“Riesgo probable muy elevado. Medidas correctivas inmediatas”*

Se realizó medición de las concentraciones de cromo hexavalente en los ambientes laborales de las siete empresas objeto de estudio mediante el método NIOSH 7600 validado para los requerimientos del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. El proceso se realizó mediante dos actividades: la primera se basó en el ajuste del protocolo de medición y toma de muestras en campo y el segundo de la cuantificación en el Laboratorio con la metodología validada. De esta cuantificación se obtuvo que las siete empresas monitoreadas superaron los valores de seguridad máximos permitidos de exposición a sustancias peligrosas establecidos por la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) adoptados por Colombia Según el estatuto de seguridad industrial (Resolución 2400 de 1979).

Se realizó medición de la concentración de cromo total en orina de los trabajadores expuestos en los ambientes laborales de las cromadoras mediante el método INSHT (MTA/MB-018/A94), validado para los requerimientos del laboratorio de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Para la recolección de las muestras de

orina, se utilizó el protocolo propuesto por la autoridad científico técnica nacional en salud el Instituto Nacional de Salud (INS), con el fin de garantizar la calidad, eficiencia y eficacia de los procedimientos realizados en la obtención, envío, transporte y conservación de las muestras para el posterior análisis. El resultado obtenido de esta cuantificación arrojó que dos de los siete trabajadores evaluados superaron los valores de seguridad máximos permitidos de exposición a sustancias peligrosas establecidos por la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) adoptados por Colombia Según el estatuto de seguridad industrial (Resolución 2400 de 1979).

Se realizó descripción de los resultados de la evaluación del riesgo potencial, las concentraciones medidas en los ambientes laborales y en los trabajadores expuestos, frente a los TLV-TWA® y BEI® adoptados en Colombia. De lo anterior resultó asociación del monitoreo biológico con la cantidad de Ácido Crómico utilizado al mes. Mayores niveles de cromo hexavalente en aire para las microempresas, además de identificar que los elementos de protección personal no son controles operacionales eficaces para disminuir la exposición a la sustancia. Se debe tener un adecuado lavado de manos e higiene personal puesto que también se consideran importante la absorción por la vía dérmica y digestiva por ingestión de alimentos contaminados.

En el proceso de cromado intervienen otras sustancias categorizadas por la IARC como cancerígenas entre las que se encuentran níquel, cadmio y ácido sulfúrico, además de sustancias altamente tóxicas como algunas sales de cianuro.

La investigación identificó y documentó condiciones de trabajo que representan riesgos para la salud en el sector de galvanoplastia debido a sus prácticas inseguras y las condiciones de operación, determinadas en ambientes laborales y orina de los trabajadores expuestos con la superación de los límites permisibles TLV-TWA® y BEI®; lo cual activa una alerta a las empresas para actuar en la optimización de sus procesos y establecer controles operacionales tendientes a la prevención del riesgo.

Igualmente, el presente estudio permitió la aplicación de una metodología internacional de evaluación cualitativa de riesgo por inhalación y contacto dérmico, la cuál es una herramienta muy útil para el abordaje y estudio de los trabajadores que se desempeñan

en puestos de trabajo expuestos a sustancias químicas, que requieren el estudio y vigilancia al riesgo químico y dónde, en la mayor parte de las veces, no se cuenta con mediciones ambientales realizadas rigurosamente, ni con una descripción metodológica de los puestos de trabajo y tareas a riesgo químico.

6.2 Recomendaciones

En el proceso de investigación se identificó que, dentro de los biomarcadores de exposición para el cromo hexavalente, debido a su proceso de absorción y distribución, el cromo en eritrocito aporta el valor real de la concentración por exposición ocupacional, puesto que la capacidad del cromo trivalente para atravesar la membrana del eritrocito es nula, mientras que el cromo hexavalente atraviesa y queda atrapado en el eritrocito durante la vida de este. De acuerdo con lo anterior se recomienda validar una metodología analítica para la cuantificación de cromo en eritrocito.

Dado que el aporte que tiene la vía de exposición dérmica para el ingreso del cromo hexavalente en las cromadoras es alto de acuerdo con la evaluación cualitativa, es importante realizar una medición cuantitativa a los trabajadores de las cromadoras, de acuerdo con los procedimientos establecidos por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH).

Teniendo en cuenta la presencia de otros compuestos tóxicos en el proceso de recubrimiento de metales, se hace interesante realizar el estudio de otros agentes que intervienen en el proceso de cromado categorizados por la IARC como cancerígenas (Níquel, Cadmio y Ácido Sulfúrico) y demás sustancias altamente tóxicas (Sales de cianuro).

Las condiciones laborales y de exposición de los trabajadores a estos metales, hace necesario realizar monitoreo biológico para todos los cargos que no están asociados con el proceso de Cromado dadas las condiciones de exposición que se presentan en el ambiente laboral con el fin de establecer estrategias de control de exposición y vigilancia de la misma.

Finalmente, se considera útil recomendar implementar en el país la metodología cualitativa de evaluación de riesgo por inhalación y por contacto dérmico para los procesos de recubrimiento de metales y para otros procesos industriales que involucran sustancias químicas peligrosas.

A. Anexo: Solicitud de censo de empresas cromadoras de Bogotá a la Secretaría Distrital de Salud.

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



Bogotá D.C. mayo 22 de 2017

[MT-076-17]

Doctora
SONIA ESPERANZA REBOLLO
Profesional Especializado
Subdirección de Vigilancia en Salud Pública
Secretaría Distrital de Salud

SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD
Para: 012100.SUBDIRECCION DE V
2017ER33985 01-06-2017 03:23
Folios: 0 Anexos: 0 ORIG R: 3
Tramite: CARTA-SOLICITUD

Asunto: solicitud de información de establecimientos que utilicen ácido crómico en Bogotá.

Reciba un cordial saludo del personal docente,

La Maestría en Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia está comprometida con la formación de alta calidad de sus estudiantes y con el desarrollo de proyectos de investigación que van de la mano con las necesidades de la sociedad colombiana.

Dentro de la formación de posgrado de los futuros magister en Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia, es importante la realización de actividades de investigación que den respuesta a las realidades laborales en nuestro país.

Es por ello, que nuestra estudiante Derly Johanna Páez Bahamón, ha planteado el proyecto de investigación titulado "Determinación de Cr⁶ en eritrocito por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito y su correlación con la concentración de Cr⁶ en ambientes laborales de cromadores de Bogotá 2017", que se enmarca en la línea de investigación de metales y requiere la determinación de Cr⁶ en sangre de trabajadores de cromado en Bogotá.

Por lo anterior, La Universidad Nacional de Colombia se permite solicitar a la entidad el censo de los establecimientos cuya actividad económica esté en tratamiento y revestimiento de metales con código CIIU 2592 y que sean usuarias de ácido crómico.

Este estudio permitirá determinar las concentraciones de Cr⁶ presentes en el aire y en las muestras de sangre de los trabajadores expuestos al agente y contribuirá con el desarrollo de un nuevo método analítico de medición más específico.

Agradecemos su gentil atención a la solicitud y quedamos a la espera de su apoyo con una positiva respuesta.

Cordialmente.


ALBA ISABEL RODRÍGUEZ PULIDO
Coordinadora Académica
Programa Curricular Maestría en Toxicología
Departamento de Toxicología
Facultad de Medicina
Universidad Nacional de Colombia
Sede Bogotá

Página 01 de 01
Elaboró: Luz Helena Serrano Rueda



Carrera 30 N° 45-03
Facultad de Medicina, piso 2 - Oficina 203
Teléfono 31650000 extensión 15120
Bogotá, Colombia
Maetoxico_fmbog@unal.edu.co

**Patrimonio
de todos
los colombianos**

B. Anexo: Modelo de Invitación a participar entregada a las empresas.

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá D.C. octubre 4 de 2017

[MT-124-17]

Señores
CROMADOS Y MECANIZADOS INDUSTRIALES S.A.S
Ciudad

ASUNTO: INVITACIÓN A PARTICIPAR EN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Reciba un cordial saludo del personal docente,

La Maestría en Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia está comprometida con la formación de alta calidad de sus estudiantes y con el desarrollo de proyectos de investigación que respondan a las necesidades y problemáticas de la sociedad colombiana.

Dentro de la formación de posgrado de los futuros Magister en Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia, es importante la realización de actividades de investigación que den respuesta a las realidades laborales en nuestro país.

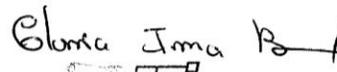
Es por ello, que nuestra estudiante Derly Johanna Páez Bahamón, a quien me permito presentar en esta comunicación, desea aportar conocimiento que beneficie a las empresas y trabajadores del sector del cromado y ha planteado el proyecto de investigación titulado "Determinación de Cr+6 en ambientes laborales y asociación con la concentración de cromo total en orina en trabajadores de empresas cromadoras en Bogotá. 2017", que se enmarcan en la línea de investigación de metales y requiere la determinación de Cromo total en orina de trabajadores de cromado en Bogotá y la medición en el aire de este contaminante.

Por lo anterior, La Universidad Nacional de Colombia se permite invitar a los establecimientos cuya actividad económica esté en tratamiento y revestimiento de metales con código CIIU 2592 y que sean usuarias de Ácido Crómico a participar en este proyecto, con el deseo de contribuir al desarrollo de posibles políticas de promoción y prevención.

Agradecemos su gentil atención a esta invitación y quedamos a la espera de su apoyo con una positiva respuesta, para lo cual les solicitamos comedidamente expresar su interés en participar en el estudio, directamente a la estudiante.

Cordialmente.


ALBA ISABEL RODRIGUEZ PULIDO
Coordinadora Maestría de Toxicología
Departamento de Toxicología - Facultad de Medicina
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá



CROMADOS Y MECANIZADOS
INDUSTRIALES S.A.S.
NIT. 260.469.594-1
TEL. 357 1277

20-10-2017

SESQUICENTENARIO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



Página 01 de 01
Elaboró: Luz Helena Serrano Rueda

Carrera 30 N° 45-03
Facultad de Medicina, piso 2 - Oficina 203
Teléfono 31650000 extensión 15120
Bogotá, Colombia
Maetoxico_fmbog@unal.edu.co

Patrimonio
de todos
los colombianos

C. Consentimiento informado

DETERMINACIÓN DE Cr^{+6} EN AMBIENTES LABORALES Y ASOCIACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL EN ORINA EN TRABAJADORES DE EMPRESAS CROMADORAS DE BOGOTÁ 2017.

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo _____ identificado con CC N° _____, he sido informado(a) que la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá, está llevando a cabo un estudio sobre la determinación de Cr^{+6} en orina de trabajadores de cromado en Bogotá.

He decidido participar voluntariamente en el estudio, entiendo que para ello necesito responder una serie de preguntas generales y que serán de carácter general sobre mi estado de salud y hábitos de vida.

Se me ha informado que este estudio permitirá determinar la concentración de Cromo total en orina presente en la muestra de los trabajadores de cromado y que de alguna manera contribuye en la investigación del estado de salud de los mismos.

Entiendo que para el desarrollo del estudio es necesario que yo suministre alrededor de 35 mL de orina, que en el momento en que se esté tomando la muestra de orina para ser analizada se están utilizando todos los elementos de bioseguridad necesarios y material nuevo con el fin de controlar riesgos. Sin embargo, si al participar se desarrolla alguna condición desfavorable se me ofrecerá orientación médica competente.

Se me ha preguntado si tengo alguna duda acerca del estudio en este momento y que de llegar a presentarse, estas pueden ser resueltas en el Departamento de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

Firma del participante

Firma Investigador

Firma del Profesor Tutor

C.C.

C.C.

C.C.

Testigos

Firma: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

Cédula: _____

Cédula: _____

Dirección: _____

Dirección: _____

D. Encuesta a trabajadores

DETERMINACIÓN DE Cr^{6+} EN AMBIENTES LABORALES Y ASOCIACIÓN CON LA
CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL EN ORINA EN TRABAJADORES DE EMPRESAS
CROMADORAS DE BOGOTÁ 2017.

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



ENCUESTA AL TRABAJADOR

Apreciado trabajador, a continuación encontrará unas sencillas preguntas que aportarán información que detallará el posible nivel de exposición al Cromo hexavalente en el que usted se encuentra. Lo invitamos a contestarlas con la mayor sinceridad posible, dado que de su respuesta depende el análisis confiable de los datos.

Nombre: _____

Cc: _____ Edad: _____

Número de años que se ha desempeñado en el cargo como cromador: _____

Horario de Trabajo: _____

¿Usa Elementos de Protección personal? SI ___ NO ___

¿Cuáles?

1. ¿Es usted consumidor de tabaco? SI NO

Número de cigarrillos que fuma al día _____ ¿Cuántos años lleva fumando? _____

2. ¿Ha sufrido o sufre de enfermedades en:

- Ojos
- Piel
- Boca
- Nariz
- Sangre
- Riñón
- Alergias

Especifique: _____

3. ¿Ha consumido en la última semana /últimos 5 días) alguno de los siguientes alimentos? Marque con una X.

- | | | | | |
|-------------|----|--------------------------|----|--------------------------|
| • Cerveza | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Cereales | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Carne | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Vegetales | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Mariscos | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |

Firma del participante

C.C

E. Entrega de resultados (trabajador)

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá D.C. junio XX de 2019

[MT-XXX-19]

Señor
CROMADOR
Ciudad

ASUNTO: Entrega de reporte de resultados de investigación en la caracterización de riesgo por exposición a cromo hexavalente.

Reciba un cordial saludo del personal docente de la Maestría en Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

Me dirijo a usted con el fin de realizar la entrega de los resultados obtenidos en la toma de muestras de cromo total en orina como indicador biológico de exposición al cromo hexavalente realizadas en el marco del proyecto titulado "Determinación de cromo hexavalente en ambientes laborales, cromo total en orina y estimación del nivel de riesgo para la salud de acuerdo con las condiciones de exposición de trabajadores de empresas cromadoras de Bogotá. 2018.", de la estudiante Derly Johanna Páez Bahamón.

Agradecemos su gentil colaboración y el apoyo suministrado para el aporte al conocimiento obtenido con este estudio.

Cordialmente,

DIANA CAROLINA CHAVES SILVA

Docente programa curricular Maestría en Toxicología
Departamento de Toxicología - Facultad de Medicina
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

DERLY JOHANNA PÁEZ BAHAMÓN

Estudiante Tesista
Maestría en Toxicología

Carrera 30 N° 45-03
Facultad de Medicina, piso 2 - Oficina 203
Teléfono 31650000 extensión 15120
Bogotá, Colombia
Maestoxico_fmboq@unal.edu.co

Patrimonio
de todos
los colombianos

E. Entrega de resultados (Empresa)

Maestría en Toxicología
Facultad de Medicina
Sede Bogotá



Bogotá D.C. junio XX de 2019

[MT-XXX-19]

Señores

EMPRESA CROMADORA DE BOGOTÁ

Ciudad

ASUNTO: Entrega de reporte de investigación en la caracterización de riesgo por exposición a cromo hexavalente.

Reciban un cordial saludo del personal docente de la Maestría en Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

Me dirijo a ustedes con el fin de realizar entrega de los resultados obtenidos en las mediciones de cromo hexavalente en aire en el proceso de cromado de su empresa realizadas en el marco del proyecto titulado "Determinación de cromo hexavalente en ambientes laborales, cromo total en orina y estimación del nivel de riesgo para la salud de acuerdo con las condiciones de exposición de trabajadores de empresas cromadoras de Bogotá. 2018.", de la estudiante Derly Johanna Páez Bahamón.

Agradecemos su gentil colaboración y el apoyo suministrado por su empresa y los trabajadores para el éxito del proyecto y el aporte al conocimiento obtenido con este estudio, el cual será de beneficio para su empresa, trabajadores y el sector de cromado.

Cordialmente,

DIANA CAROLINA CHAVES SILVA

Docente programa curricular Maestría en Toxicología
Departamento de Toxicología - Facultad de Medicina
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

DERLY JOHANNA PÁEZ BAHAMÓN

Estudiante Tesista
Maestría en Toxicología

Carrera 30 N° 45-03
Facultad de Medicina, piso 2 - Oficina 203
Teléfono 31650000 extensión 15120
Bogotá, Colombia
Maetoxico_frbog@unal.edu.co

Patrimonio
de todos
los colombianos

F. Aval comité de ética



ACTA DE EVALUACIÓN: N°. 008-149-17
Fecha: 25 de mayo de 2017

Nombre completo del proyecto: "DETERMINACIÓN DE CR⁶ EN ERITROCITO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO Y SU CORRELACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE CR⁶ EN AMBIENTES LABORALES DE CROMADORES DE BOGOTÁ, 2017".

Versión número: 01

Sometido por: la estudiante Derly Johanna Páez Bahamón

Dirigido por: la profesora Diana Carolina Chaves Silva

Presentado por: la profesora Alba Isabel Rodríguez Pulido, Coordinadora Académica

Departamento o Sección: Programa Curricular Maestría en Toxicología de la Facultad de Medicina

Fecha en que fue sometido a consideración del Comité: 25 de mayo de 2017

EL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE MEDICINA. Se constituyó mediante la Resolución 152, (Acta No. 43 del 5 de diciembre de 1996) actualizado mediante resolución 008 (acta 03 de 27 de enero de 2011), de Consejo de Facultad el Comité de Ética de Investigación, el cual está regido por la Resolución 008430 del 4 de octubre de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia que estableció las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud; los principios de la Asamblea Médica Mundial expuestos en su Declaración de Helsinki de 1964, última revisión del año 2000; y el código de regulaciones federales, título 45, parte 46, para la protección de los sujetos humanos, del departamento de salud y servicios humanos de los institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos (Junio 18 de 1991).

1. Sus miembros revisaron los siguientes documentos del presente proyecto:

- ✓ Carta de presentación del proyecto generada por la unidad básica o el departamento.
- ✓ Copia de la evaluación de los jurados o pares académicos que evaluaron y aprobaron el trabajo)
- ✓ Copia del proyecto completo de investigación.
- ✓ Dos resúmenes ejecutivos.
- ✓ Dos copias del consentimiento informado (en español y cuando la investigación lo amerite).
- ✓ Hojas de vida resumidas de los investigadores y coinvestigadores del proyecto
- ✓ Consideraciones éticas según resolución 8430 Ministerio de Salud.
- ✓ Resultados de evaluación por otros comités (si aplica)

2. El presente proyecto fue evaluado y aprobado por los siguientes miembros del Comité:

- | | | |
|---|--------------------------------|---|
| 1 | Amador Luis Roberto | Departamento de Patología |
| 2 | Arteaga Díaz Clara Eugenia | Departamento de Morfología |
| 3 | Duarte Gutiérrez Liz Marcela | Asesora Jurídica Facultad de Medicina |
| 4 | Guerrero Fonseca Carlos Arturo | Departamento de Ciencias Fisiológicas |
| 5 | Parra Pineda Mario Orlando | Departamento de Obstetricia y Ginecología |

3. El Comité consideró que el presente estudio:

- a. Es válido desde el punto vista ético. La investigación involucra un riesgo igual al promedio para los sujetos que participan en ella. La investigación se ajusta a los estándares de la buena práctica clínica.

[Página 1/1]

Elaboró Jeannette Pineda A.

Carrera 30 N°. 45-03
 FACULTAD DE MEDICINA, Edificio 471 - 1 piso, Of.136
 Conmutador: (57) (1) 316 5000 ext. 15167
 Bogotá, Colombia
eticasalud_fmbog@unal.edu.co

Patrimonio
 de todos
 los colombianos

F. Aval comité de ética (continuación)



- b. El Comité considera que las medidas que están siendo tomadas para proteger a los sujetos humanos son adecuadas.
4. El Comité informará inmediatamente a las directivas institucionales:
- Todo desacato de los investigadores a las solicitudes del Comité.
 - Cualquier suspensión o terminación de la aprobación por parte del Comité.
5. El Comité informará inmediatamente a las directivas, toda información que reciba acerca de:
- Lesiones o daños a sujetos humanos con motivo de su participación en la investigación Problemas imprevistos que involucren riesgos para los sujetos u otras personas.
 - Cualquier cambio o modificación a este proyecto que haya sido revisado y aprobado por este comité
6. Cuando el proyecto sea aprobado, será por un periodo de un (1) año a partir de la fecha de aprobación.
7. El Investigador principal deberá:
- Informar de cualquier cambio que se proponga introducir en el proyecto. Estos cambios no podrán ejecutarse sin la aprobación previa del COMITÉ DE ÉTICA DE LA FACULTAD DE MEDICINA) excepto cuando sean necesarios para minimizar o suprimir un peligro inminente o un riesgo grave para los sujetos que participan en la investigación.
 - Avisar de cualquier situación imprevista que se considere implica algún signo de riesgo para los sujetos o la comunidad o el medio en el cual se lleva a cabo el estudio.
 - Informar de cualquier evento adverso serio de algún paciente, comunicando la situación al secretario y al presidente del Comité de Ética), de acuerdo con la normatividad que el INVIMA ha generado a este respecto.
 - Poner en conocimiento del comité toda información nueva importante respecto al estudio, que pueda afectar la relación riesgo/beneficio de los sujetos participantes.
 - Comunicar cualquier decisión tomada por otros comités con respecto a la investigación que se lleva a cabo.
 - Informar de la terminación prematura o suspensión del proyecto explicando las causas o razones.
 - Presentar a este comité un informe cuando haya transcurrido un año, contado a partir de la aprobación del proyecto. Los proyectos con duración mayor a un año, serán reevaluados a partir del informe de avance integrado.
 - Todos los proyectos deben entregar al finalizar un informe final de cierre del estudio, este cierre puede ser el informe final en formato completo o en formato de resumen de cierre de estudio, firmado por el investigador responsable del estudio.
8. Observaciones:

El comité considera que el proyecto de investigación no presenta dilemas éticos por lo tanto emite Concepto Aprobatorio.

Nombre: CARLOS ARTURO QUERRERO FONSECA
 Título: PhD Doctorado en Bioquímica, MSc. en Farmacología y MSc. en Genética Humana
 Cargo: Presidente Comité de Ética

Bibliografía

1. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Anon. Chromium, Nickel, and Welding. 1990 Vol. 49.
2. Sciannameo V, Errico A, Ricceri F, Soldati S, Scarnato C, Gerosa A, et al. Cancer mortality and exposure to nickel and chromium compounds in a cohort of Italian electroplaters. *Am J Ind Med.* 2019;(December 2018):1–12.
3. Alexopoulos EC, Cominos X, Trougakos IP, Lourda M, Gonos ES, Makropoulos V. Biological Monitoring of Hexavalent Chromium and Serum Levels of the Senescence Biomarker Apolipoprotein J / Clusterin in Welders. *Bioinorg Chem Appl.* 2008;2008(V).
4. Zendejdel R, Shetab-boushehri SV, Azari MR, Hosseini V, Mohammadi H. Chemometrics models for assessment of oxidative stress risk in chrome-electroplating workers. *Drug Chem Toxicol, Early.* 2014;0545:1–6.
5. Gambelunghe A, Piccinini R, Ambrogi M, Villarini M, Moretti M. Primary DNA damage in chrome-plating workers. *ELSEVIER, TOXICOLOGY.* 2003;188:187–95.
6. Zhang X-H, Zhang X, Wang X-C, Jin L-F, Yang Z-P, Jiang C-X, et al. Chronic occupational exposure to hexavalent chromium causes DNA damage in electroplating workers. *BMC Public Health [Internet].* 2011;11(1):224. Available from: <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/11/224>
7. Saraswathy CP, Usharani M V. Monitoring of cellular enzymes in the serum of electroplating workers at Coimbatore. *J Environ Biol.* 2007;28(April):287–90.
8. Agudelo V S, Duarte A M. Evaluación de cromo en ambientes de trabajo en una industria de curtiembres y una de galvanoplastia. *Rev Colomb Química.* 1994;23(2):15.
9. Páez J, Gonzalez N, García P. Estandarización del manejo integral de sustancias químicas a través de herramientas de producción más limpia en el proceso de galvanotecnia en la localidad de Puente Aranda. Universidad Agraria de Colombia; 2011.
10. Julve E. Perspectiva general del cromado industrial: Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado. 2001;
11. Beattie H, Keen C, Coldwell M, Tan E, Morton J, McAlinden J, et al. The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry. *J Expo Sci Environ Epidemiol [Internet].* 2015;(September 2014):1–9. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/jes.2015.67>
12. Blade LM, Yencken MS, Wallace ME, Catalano JD, Khan A, Topmiller JL, et al. Hexavalent Chromium Exposures and Exposure-Control Technologies in American Enterprise : Results of a NIOSH Field Research Study. 2007;(August):596–618.
13. Wang HJ, Du XM, Wang M, Wang TC, Ou-Yang H, Wang B, et al. Using ion-pair

- reversed-phase HPLC ICP-MS to simultaneously determine Cr(III) and Cr(VI) in urine of chromate workers. *Talanta* [Internet]. 2010;81(4–5):1856–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2010.03.059>
14. Chen YC, Coble JB, Deziel NC, Ji BT, Xue S, Lu W, et al. Reliability and validity of expert assessment based on airborne and urinary measures of nickel and chromium exposure in the electroplating industry. *J Expo Sci Environ Epidemiol* [Internet]. 2014;24(6):622–8. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&NEWS=N&PAGE=fulltext&D=medc&AN=24736099>
 15. Mäkinen M, Linnainmaa M. Dermal Exposure to Chromium in Electroplating. *Ann Occup Hyg*. 2004;48(3):277–83.
 16. Schlosser PM, Sasso AF. A revised model of ex-vivo reduction of hexavalent chromium in human and rodent gastric juices. *Toxicol Appl Pharmacol* [Internet]. 2014;280(2):352–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2014.08.010>
 17. Cuberos E, Rodriguez AI, Prieto E. Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Rev Salud Pública*. 2009;11(2):278–89.
 18. Brien TJO, Ceryak S, Patierno SR. Complexities of chromium carcinogenesis : role of cellular response , repair and recovery mechanisms. Elsevier, *Mutación Res*. 2003;533:3–36.
 19. Ishikawa Y, Nakagawa K, Satoh Y, Kitagawa T, Sugano H, Hirano T, et al. Characteristics of chromate workers ' cancers , chromium lung deposition and precancerous bronchial lesions : an autopsy study. *Br J Cancer*. 1994;70:160–6.
 20. Buttner B, Beyersmann D. Modification of the erythrocyte anion carrier by chromate. *XENOBIOTICA*. 1985;15(November):735–41.
 21. Organization WH, others. Concise International Chemical Assessment Document 78, Inorganic Chromium (VI) Compounds. 2013.
 22. Zhitkovich A. Importance of chromium-DNA adducts in mutagenicity and toxicity of chromium(VI). *Chem Res Toxicol*. 2005;18(1):3–11.
 23. Luczak MW, Green SE, Zhitkovich A. Different ATM signaling in response to chromium(VI) metabolism via ascorbate and nonascorbate reduction: Implications for in vitro models and toxicogenomics. *Environ Health Perspect*. 2016;124(1):61–6.
 24. D J Paustenbach S M Hays B A Brien. Observation of Steady State in Blood and Urine Following Human Ingestion of Hexavalent Chromium in Drinking Water. *J Toxicol Environ Health* [Internet]. 1996;49(5):453–62. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/009841096160682>
 25. Lewalter J, Korallus U, Harzdorf C, Weidemann H. Chromium bond detection in isolated erythrocytes: a new principle of biological monitoring of exposure to hexavalent chromium. *Int Arch Occup Environ Health*. 1985;55(4):305–18.
 26. Shi X, Dalal NS. Generation Biologically Complexes of Hydroxyl Relevant Radical

- Systems : by Role Chromate of Cr (V) in versus Tetraperoxochrom. Environ Heal Perspect Vol 102, Suppl 3 Mol Mech Met Toxic Carcinog (Sep, 1994), pp 231-236. 1990;102(V).
27. Bose RN, Moghaddas S, Gelerinter E. Long-lived chromium(IV) and chromium(V) metabolites in the chromium(VI)-glutathione reaction: NMR, ESR, HPLC, and kinetic characterization. *Inorg Chem* [Internet]. 1992;31(11):1987–94. Available from: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ic00037a004>
 28. Téllez J, Carvajal M, Gaitán A. Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Rev Fac Med Univ Nac Colomb*. 2004;52(1):50–61.
 29. Ministerio de Salud y Protección Social. Decreto 1477. Colombia; 2014 p. 109.
 30. Abril Díaz N, Bárcena Ruiz JA, Fernández Reyes E, Galván Cejudo A, Jorrín Novo J, Peinado Peinado J, et al. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Campus Univ Rabanales Dep Bioquímica y Biol Mol* [Internet]. 2010;1:1–8. Available from: http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf
 31. Tatiana del Pilar Cortés. Determinación de niveles sanguíneos de Plomo en una muestra de niños mediante espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito. 2016.
 32. Abril Díaz N, Antonio Bárcena Ruiz J, Fernández Reyes E, Galván Cejudo A, Jorrín Novo J, Peinado Peinado J, et al. 8. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. :1–8. Available from: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39361963/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1539741120&Signature=%2FRUWdB%2F0x%2B3q7yR%2F5XVdJ0idGZs%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3D08_ESPECTROFOTOMET
 33. Vi C. Chromium , Hexavalent 7604. *Quality*. 1994;00(Vi):0–2.
 34. Health C of SH to. NTP 936 Agentes químicos : evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). *Modelo COSHH Essentials*. Reino Unido; 2008. p. 1–6.
 35. Sécurité IN de R et de. NTP 937 Agentes Químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Vol. 3, *Ciencias Ergo Sum*. España; 2012. p. 286–94.
 36. Naciones Unidas. Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). 2011. 47, 55, 59, 63, 67, 71, 79, 85, 97, 105, 111 p.
 37. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 897 NTP Exposición dérmica a sustancias químicas : evaluación y gestión del riesgo. p. 1–8.
 38. Instituto Nacional de Salud S y B en el T de E. Guía del monitor. *Higiene Industrial*

- [Internet]. Available from: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SaludMedicinaDelTrabajoGuiaDelMonitor.pdf>
39. Fundación MAPRE. Mapfre-Manual-De-Higiene-Industrial. 1991. 903 p.
 40. Luna Mendaza Ldo en Ciencias Químicas P. NTP 406: Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral (I). In 2016. Available from: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_406.pdf
 41. Une-en- N, Une-en- S, Ntp L, Sol XG, Qu C. Norma UNE-EN-482 y relacionadas. NTP 583 : Evaluación de la exposición laboral a agentes químicos . 1995;
 42. Nacional C, Trabajo DECDE. NTP 280 : Cromo en orina : utilización como índice biológico en la exposición laboral.
 43. Ilizaliturri César A, González-Mille Donaji, Pelallo Nadia A, Domínguez Gabriela, Mejía-Saavedra Jesús TDA et al . Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. INCI. 2009;34:710–7.
 44. Lumens MEGL, Ulenbelt P, Géron HMA, Herber RFM. Hygienic behaviour in chromium plating industries. *Int Arch Occup Environ Health*. 1993;64(7):509–14.
 45. Institute for Occupational Safety and Health N. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual [Internet]. Available from: https://portal.utoronto.ca/bbcswebdav/pid-6168095-dt-content-rid-39422713_2/courses/Fall-2017-CHL5910H-F-LEC0101/NIOSH_77-173_OccExposureSamplingManual.pdf
 46. Instituto Nacional de Salud. Manual para obtención y envío de muestras para análisis de eventos de interés en salud pública. Colombia; 2011. p. 134.
 47. Yatera K, Morimoto Y, Ueno S, Noguchi S, Kawaguchi T, Tanaka F, et al. Cancer risks of hexavalent chromium in the respiratory tract. *J UOEH*. 2018;40(2):157–72.
 48. Xia H, Ying S, Feng L, Wang H, Yao C, Li T, et al. Decreased 8-oxoguanine DNA glycosylase 1 (hOGG1) expression and DNA oxidation damage induced by Cr (VI). *Chem Biol Interact* [Internet]. 2019;299(Vi):44–51. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.11.019>
 49. Montero Nuria, Soler José, Pascual José 1, Barrios Clara 1, Márquez Eva 1, Rodríguez Eva, Berrada Ali, Riera Marta, Coca Luís, Orfila Antonia PJ. Correlación entre el cociente proteína/creatinina en orina esporádica y las proteínas en orina de 24 horas. *scielo Nefrol*. 2012;32(4):494–501.
 50. El Safty AMK, Samir AM, Mekkawy MK, Fouad MM. Genotoxic Effects Due to Exposure to Chromium and Nickel Among Electroplating Workers. *Int J Toxicol*. 2018;37(3):234–40.