

Estudio del riesgo químico sobre la salud de las personas y las condiciones sanitarias y ambientales de los procesos de fundición y refinación de oro en el municipio de La Llanada, Colombia

Estudo do risco químico sobre a saúde das pessoas e as condições sanitárias e ambientais dos processos de fundição e refinação de ouro no município de La Llanada, Colômbia

Study of the chemical risk to human health and the sanitary and environmental conditions of the gold smelting and refining processes in the municipality of La Llanada, Colombia.

Sebastián Zarama Medina¹, Freddy Pantoja-Timaran²

¹ Universidad de Nariño, Pasto Colombia, ORCID 0000-0002-8432-9131, jzarama@udenar.edu.co.

² Universidad de Nariño, Pasto Colombia, ORCID 0000-0002-3471-9529, fpantoja@udenar.edu.co.

Cita: Zarama Medina S, Pantoja-Timaran F. Estudio del riesgo químico sobre la salud de las personas y las condiciones sanitarias y ambientales de los procesos de fundición y refinación de oro en el municipio de La Llanada, Colombia. Rev Salud ambient. 2024; 24(1):72-87.

Recibido: 14 de abril de 2023. **Aceptado:** 12 de abril de 2024. **Publicado:** 15 de junio de 2024.

Autor para correspondencia: Johan Sebastián Zarama Medina
Correo e: sebastianzm7@gmail.com

Resumen

En el departamento de Nariño, región privilegiada por su riqueza en oro de veta, su extracción, beneficio, fundición y refinación se realizan a través de tecnologías pequeñas y medianamente mecanizadas con altos riesgos y costos económicos, sociales, sanitarios y ambientales. En el municipio de la Llanada, la fundición y refinación de oro se realiza mediante la técnica conocida como fundición directa con el uso de sustancias químicas. El objetivo de la investigación fue realizar un análisis acerca del riesgo químico sobre la salud de las personas y el medio ambiente de las principales sustancias que se utilizan en la fundición y refinación del oro a pequeña escala mediante una revisión bibliográfica, recolección y análisis de datos basados en la visita de tres establecimientos de fundición y refinación de oro en el municipio de La Llanada (Nariño) en Colombia. Este análisis se ajustó de acuerdo al cálculo de nivel de riesgo expuesto en la Guía Técnica Colombiana GTC-45. Entre los resultados se encontró que: las condiciones sanitarias y de trabajo en la mayoría de establecimientos es baja o nula; en todos los establecimientos de fundición, el residuo mayoritario corresponde a las emisiones gaseosas, para cuyo control, no cuentan con las instalaciones técnicas adecuadas. Es imperativo implementar, de manera urgente en La Llanada, medidas técnicas de prevención y mitigación de riesgos sanitarios y ambientales y una campaña de sensibilización y capacitación con el apoyo de instituciones estatales. El manejo de reactivos, su almacenamiento y la disposición final de los residuos sólidos y líquidos se debe corregir y mejorar.

Palabras clave: fundición directa de oro; Guía Técnica Colombiana GTC-45; impacto en la salud y el medio ambiente; exploración artesanal de oro en Nariño; residuos sólidos, líquidos y gaseosos en la minería; riesgo químico en la fundición y refinación de oro; sustancias químicas; en la minería en pequeña escala; Condiciones técnicas de los establecimientos mineros; nivel de riesgo en la minería artesanal.

Resumo

No departamento de Nariño, uma região privilegiada pela sua riqueza em ouro em veio, a sua extração, beneficiamento, fundição e refinação são realizadas através de tecnologias mecanizadas de pequena e média dimensão, com elevados riscos e custos econômicos, sociais, sanitários e ambientais. No município de La Llanada, a fundição e a refinação do ouro são realizadas através da técnica conhecida como fundição direta com a utilização de substâncias químicas. O objetivo da investigação foi realizar uma análise do risco químico para a saúde humana e o ambiente das principais substâncias utilizadas na fundição e refinação de ouro

em pequena escala, através de uma revisão da literatura, recolha e análise de dados com base em visitas a três estabelecimentos de fundição e refinação de ouro no município de La Llanada (Nariño), na Colômbia. Esta análise foi ajustada de acordo com o cálculo do nível de risco estabelecido no Guia Técnico Colombiano GTC-45. Entre os resultados, verificou-se que: As condições sanitárias e de trabalho na maioria dos estabelecimentos são baixas ou inexistentes; em todos os estabelecimentos de fundição, a maioria dos resíduos corresponde a emissões gasosas, para cujo controlo não dispõem de instalações técnicas adequadas. É imperativo implementar urgentemente em La Llanada medidas técnicas de prevenção e mitigação dos riscos sanitários e ambientais e uma campanha de sensibilização e formação com o apoio das instituições estatais. O manuseamento dos reagentes, o seu armazenamento e a eliminação final dos resíduos sólidos e líquidos devem ser corrigidos e melhorados.

Palavras chave: fundição direta de ouro; Guia Técnico Colombiano GTC-45; impacto na saúde e no ambiente; exploração artesanal de ouro em Nariño; resíduos sólidos-líquidos-gás na exploração mineira; risco químico na fundição e refinação de ouro; substâncias químicas; na exploração mineira em pequena escala; condições técnicas dos estabelecimentos mineiros; nível de risco na exploração mineira artesanal.

Abstract

In the department of Nariño, a region privileged for its rich vein gold, extraction, processing, smelting and refining are carried out using small and moderately mechanized technologies with high economic, social, health and environmental risks and costs. In the municipality of La Llanada, gold smelting and refining is carried out using the technique known as direct smelting with the use of chemical substances. The objective of the research was to conduct an analysis of the chemical risk to human health and the environment of the main substances used in small-scale gold smelting and refining through a literature review, data collection and analysis based on visits to three gold smelting and refining establishments in the municipality of La Llanada (Nariño) in Colombia. This analysis was adjusted according to the risk level calculation set forth in the Colombian Technical Guide GTC-45. Among the results it was found that: Sanitary and working conditions in most of the establishments are low or nonexistent; in all the smelting establishments, the majority of waste corresponds to gaseous emissions, for whose control, they do not have adequate technical facilities. It is imperative to urgently implement technical measures to prevent and mitigate health and environmental risks in La Llanada, as well as an awareness and training campaign with the support of state institutions. Reagent management, storage, and final disposal of solid and liquid waste must be corrected and improved.

Keywords: direct gold smelting; Colombian Technical Guide GTC-45; health and environmental impact; artisanal gold mining in Nariño; solid-liquid-gaseous waste in mining; chemical risk in gold smelting and refining; chemical substances in small-scale mining; technical conditions of mining establishments; risk level in artisanal mining.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la producción de oro es suministrada en un 5 % por la gran minería, 60-65 % por la mediana minería, 15 % por la pequeña minería y el resto por la minería de subsistencia. De acuerdo a la Agencia Nacional de Minería, de los 114 millones de hectáreas del territorio nacional, solo el 5 % están tituladas para la actividad minera, de las cuales el 2,3 % están en exploración, el 1,6% en construcción y montaje y el 1,1 % en explotación.¹

La minería del oro en pequeña escala enfrenta problemas sociales, culturales, económicos, de salubridad, de seguridad, falta de tecnificación y capacitación para los mineros, lo que genera impactos negativos sobre el medio ambiente. Para lograr la reducción de estos problemas es necesario la sensibilización ambiental, información y capacitación de los actores que intervienen en esta actividad².

Los metales preciosos en Nariño, se extraen mayoritariamente a pequeña escala en la zona Andina mediante minería subterránea de oro³. Existen 189

títulos mineros vigentes en Nariño de los cuales aproximadamente 35 pequeñas minas artesanales de oro se encuentran en los municipios de Cumbitara, Los Andes, La Llanada (figura 1), Samaniego, Santacruz-Guachavez y Mallama⁴.

El municipio de La Llanada está localizado al noroccidente del departamento de Nariño, a 140 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto, con una altura sobre el nivel del mar de 2 300 metros, está comprendido en un área de 265 km². El municipio cuenta con 6 617 habitantes: 3 375 mujeres (51,0 %) y 3 242 hombres (49,0 %). Los habitantes de La Llanada representaban el 0,39 % de la población total de Nariño en 2022. El 54,8 % de la actividad económica del municipio se encuentra relacionada con el comercio y la minería⁵.

El oro de esta región este asociado a sulfuros tales como la pirita, calcopirita y arsenopirita, todo en ganga de cuarzo. Estos hechos geológicos determinan varias de las características de los diferentes procesos de producción, fundición y refinación⁶.

1. FUNDICIÓN DE ORO

Es el procedimiento para separar los minerales pesados y limpiar el oro obtenido por concentración y consiste en fundir en hornos dichos concentrados. Este proceso se realiza a altas temperaturas y con ayuda de sales denominadas coadyuvantes que mejoran el proceso de fundición y separación de escorias.

2. REFINACIÓN DEL ORO

Es el proceso que consiste en depurar el oro con cierta ley a una de mejor calidad mediante la adición de sales que mejoran el proceso de refinación. Este proceso se realiza conjunto con la fundición. La refinación del oro se puede dividir en refinación al fuego y refinación electrolítica.

En el municipio de la Llanada, los procesos de fundición y refinación de oro se realizan mayormente en casas o lugares que no están condicionados para realizar esta actividad. Generalmente, este proceso lo realiza una persona o en algunos casos dos personas debido a que la fundición al igual que la extracción se hace a pequeña escala; por otra parte, los dueños de los establecimientos manifestaron que este proceso es de sumo cuidado debido al proceso como tal y el cuidado por algún posible robo de oro.

3. RIESGOS Y EFECTOS SANITARIOS Y AMBIENTALES DERIVADOS DE LA FUNDICIÓN DE ORO

Durante el proceso de fundición se emplea una variedad de reactivos correspondientes a ácidos, bases y fundentes, los cuales al reaccionar con el mineral generan una serie de residuos y emisiones gaseosas que ponen en riesgo la salud de las personas relacionadas directa e indirectamente con esta labor como también afectan al medio ambiente y la biodiversidad.

Los residuos líquidos comprendidos mayoritariamente por ácidos son altamente corrosivos. Por sí solos no son inflamables. Reaccionan violentamente con disolventes orgánicos y bases fuertes. Al contacto con metales pueden formar hidrógeno ocasionando riesgo de explosión.

4. PELIGRO PARA LA SALUD

Es una sustancia corrosiva causando quemaduras y úlceras con los tejidos que entra en contacto.

- Contacto con la piel: quemaduras severas al contacto con la piel.

- Contacto con los ojos: irritación, dolor, lagrimeo, erosión de la córnea e incluso ceguera.
- Inhalación: produce ronquera, laringitis, irritación de las vías respiratorias y dolor del tórax. Causa sangrado en la nariz, úlceras en las mucosas de nariz y boca. En caso extremo, puede llegar a ser fatal.
- Ingestión: causa quemaduras en boca, esófago y estómago. Entre los distintos síntomas, se puede presentar dolor estomacal, dificultad para tragar, sed y náuseas. La ingestión puede causar daños permanentes al tracto digestivo. En caso extremo puede causar shock y colapso circulatorio.⁷

Durante la fundición y refinación se generan gases altamente tóxicos e inflamables. Los principales residuos gaseosos son los óxidos de azufre y óxidos de carbono. Estos contaminantes pueden producir, incluso a grandes distancias del foco emisor, efectos adversos sobre la salud como:

- El contacto puede irritar y quemar la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular.
- La inhalación puede irritar la nariz y la garganta.
- La inhalación puede irritar el pulmón, causando tos o falta de aire. La exposición más alta podría causar una emergencia médica caracterizada por la acumulación de líquido en el pulmón e intensa falta de aire (edema pulmonar).
- Los siguientes efectos crónico (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición a los gases y pueden perdurar durante meses o años:
 - Riesgo para la salud reproductiva: podría disminuir la fertilidad masculina y femenina.
 - La exposición repetida puede causar pérdida de olfato, dolor de cabeza, náuseas, vomito y mareo.
 - La exposición prolongada podría causar bronquitis con tos, flema o falta de aire⁸.

5. IMPACTOS AMBIENTALES

Los principales impactos ambientales de la fundición son:

- En el aire:
 - Emisión de material particulado.

- Emisión de anhídrido sulfuroso y generación de lluvia ácida.
- Emisión de arsénico contenido en los minerales.
- Emisión de monóxido de carbono.
- En el agua:
 - Contaminación de aguas por arrastre de sedimentos depositados en el suelo.
 - Aumento de la acidez del agua producto de vertimientos de productos ácidos.
 - Contaminación con metales pesados.
- En el suelo:
 - Pérdida de suelo y vegetación por acumulación de escoria y estériles.
 - Emisión de polvos por precipitación de humos de las chimeneas⁹.

La hipótesis que orientó esta investigación se formuló así: ¿Cuáles son los riesgos químicos sobre la salud de las personas y el medio ambiente ocasionado por las principales sustancias químicas que se utilizan en la fundición y refinación del oro en pequeña escala en La Llanada?

METODOLOGIA

Este estudio se desarrolló como una investigación descriptiva que consistió en la reseña detallada de los procesos en campo, registro, análisis e interpretación de las condiciones actuales en las que se llevan a cabo los procesos de fundición y refinación de oro en el municipio de la Llanada. Se realizó el estudio en tres establecimientos de fundición y refinación de oro que realizan esta actividad en el municipio.

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de este proyecto fueron:

1. Ficha técnica sobre los procesos de fundición y refinación de oro: es un formato que cuenta con 6 apartados que se completaron en el establecimiento a través de la observación como se indica en el **Anexo 1**. Se realizó una ficha técnica por cada establecimiento visitado.
 - 1.1. Establecimiento (tabla con información general acerca de las dimensiones del establecimiento y tenencia de servicios públicos).

- 1.2. Tipo de reactivos (tabla que posee información acerca del tipo de reactivos que se utilizan en el pretratamiento, fundición y refinación de oro).
 - 1.3. Equipos y elementos empleados (tabla que recoge la información acerca de los materiales y equipos que se utilizan en todo el proceso de fundición y refinación).
 - 1.4. Disposición de residuos (tabla que busca conocer la forma y lugar de la disposición de los residuos sólidos y líquidos).
 - 1.5. Emisiones gaseosas (tabla que indica la apariencia y cantidad de los gases liberados en la fundición y refinación de oro y la manera de controlarlos).
 - 1.6. Higiene y seguridad industrial (tabla que permite conocer si el establecimiento cuenta con elementos de protección personal para los trabajadores).
2. Entrevista al personal que labora en los establecimientos de fundición y refinación de oro: cuenta con un formato prediseñado con 10 preguntas que tiene como propósito indagar acerca de la formación técnica de los trabajadores y las condiciones de trabajo como lo muestra el **Anexo 2**. La información recolectada se guardó en un archivo tipo audio. Se realizó una entrevista por cada establecimiento, debido a que son a pequeña escala y principalmente el dueño del establecimiento es el responsable de realizar la fundición y refinación de oro.

3. Observación directa a los procesos de fundición y refinación de oro basados en un protocolo de proceso como se menciona en el **Anexo 3**.
4. Finalmente, se realizó un seguimiento fotográfico y la filmación de un video para corroborar la información obtenida anteriormente y para demostrar mediante imágenes recogidas la realidad en la que se llevan a cabo los procesos de fundición y refinación de oro como lo muestra la figura 1.
5. En consecuencia, las variables que se identificaron fueron las siguientes:

Variables independientes

Son las condiciones técnicas de los establecimientos de fundición y refinación de oro de La Llanada, tales como:

- Manejo de reactivos
- Almacenamiento de reactivos

Figura 1. Evidencia fotográfica de la fundición y refinación de oro



- Emisiones gaseosas
- Disposición y tratamiento final de residuos sólidos y líquidos
- Utilización de elementos de protección personal-EPP
- Instalaciones técnicas y señalización
- Comunidad Cercana

Variables dependientes

Son las amenazas sobre la salud de las personas y efectos negativos sobre el medio ambiente como consecuencia de las condiciones técnicas en establecimientos de fundición y refinación de oro. En el municipio de La Llanada existen 6 establecimientos de fundición y refinación de oro a pequeña escala ubicadas en el casco urbano (no existe ninguno en la zona rural) del departamento de Nariño, y como muestra representativa se eligieron tres (3) establecimientos.

Los datos recogidos se organizaron y se clasificaron con base en las variables dependientes e independientes ya mencionadas.

Finalmente, se realizó un análisis de los mismos para compararlos con la hipótesis propuesta y el análisis de riesgo de la "Guía Técnica Colombiana GTC- 45".

RESULTADOS

Los establecimientos objeto de estudio, en los cuales se lleva a cabo el proceso de fundición y refinación se llamarán: establecimiento 1, establecimiento 2 y establecimiento 3.

Debido a un acuerdo verbal por parte de las entidades estudiadas no se revelará el nombre de los establecimientos con el fin de garantizar y preservar su seguridad. En todos los establecimientos, el operador o persona a cargo de realizar la fundición y refinación de oro es el dueño del establecimiento; como se mencionó anteriormente, el objeto de este estudio está dirigido a establecimientos que realizan la actividad a pequeña escala, en donde generalmente, no se cuenta con mucho personal para realizar los procesos mencionados. De igual manera, se encontró que las personas responsables directas del proceso son hombres, que tienen una edad entre 39 y 50 años de edad.

De acuerdo con la ficha técnica y la observación de los procesos de fundición y refinación de oro se realizó un diagrama de proceso general y específico de las empresas mencionadas como lo indica la figura 2. Si bien, cada empresa desarrolla sus actividades de manera independiente, los procesos de fundición y refinación de oro son similares con la única diferencia de que varía la proporción de sales fundentes a la hora de someter la muestra a la llama.

Se observó que dos de los establecimientos que realizan la fundición se encuentran ubicados en el área urbana del municipio, mientras que el tercero se ubica en la periferia.

Se encontró que en todos los establecimientos utilizan los mismos reactivos (ácido nítrico, bórax, sal de nitro, bicarbonato de sodio) pero a diferentes concentraciones y cantidades.

Los materiales utilizados para realizar el proceso de fundición y refinación de oro generalmente son aceptables, pero se requiere y se sugiere utilizar materiales apropiados para realizar procesos como adición de ácidos y recolección de residuos sólidos y líquidos.

La disposición final de los residuos sólidos y líquidos que se producen no es la más conveniente y aunque la mayoría de los establecimientos los reciclan, no existen depósitos adecuados y señalizados para el almacenamiento de los mismos. La mayoría de estos se depositan en el relleno sanitario y vertidos en los desagües sanitarios sin un tratamiento previo de neutralización, lo que afecta los suelos, agua y biodiversidad de los ecosistemas cercanos. Se debe tener presente que para lograr un procesamiento óptimo de metales, se deben

Figura 2. Diagrama de proceso general y específico para la fundición y refinación de oro



utilizar diversos productos químicos, lo cual altera y contamina el ciclo hidrológico afectando ecosistemas fluviales y terrestres, ya que todo ser vivo depende del agua y requiere para su sostenimiento un mínimo vital¹⁰.

Las figuras 3 y 4 indican los resultados obtenidos en el estudio cuantitativo y cualitativo de los principales factores de riesgo sanitario y ambiental de los procesos de fundición y refinación de oro, según la Guía Técnica Colombiana GTC- 45 y el método de William Fine^{10,11}.

Mediante este estudio, se confirmó que el establecimiento con mayor nivel de riesgo y grado de

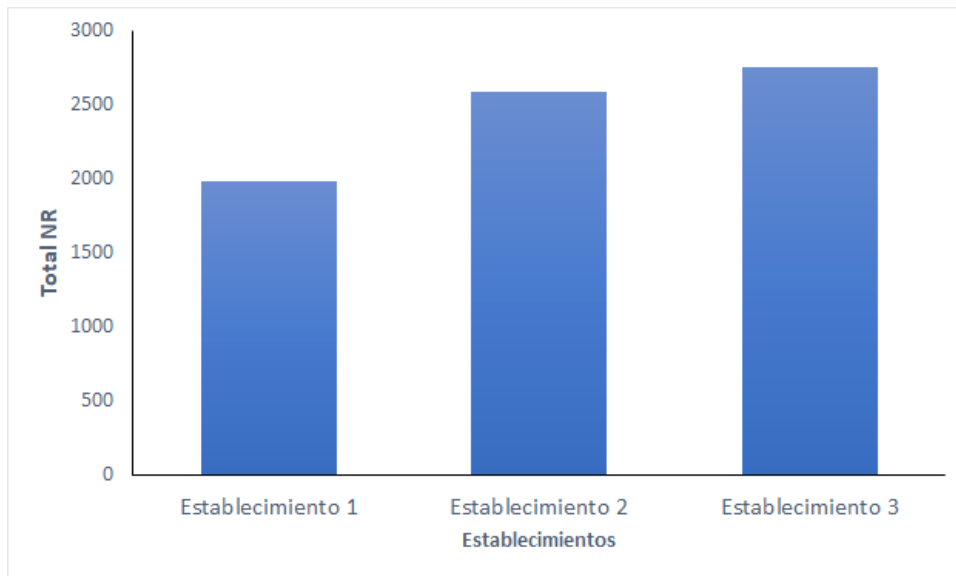
repercusión es el *Establecimiento 3*. De manera homóloga, se clasificaron las variables independientes de acuerdo al nivel de intervención expuesto en la GTC – 45, tal como lo muestra la tabla 1.

I: nivel crítico, se deben suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control.

II: corregir y adoptar medida de control de inmediato.

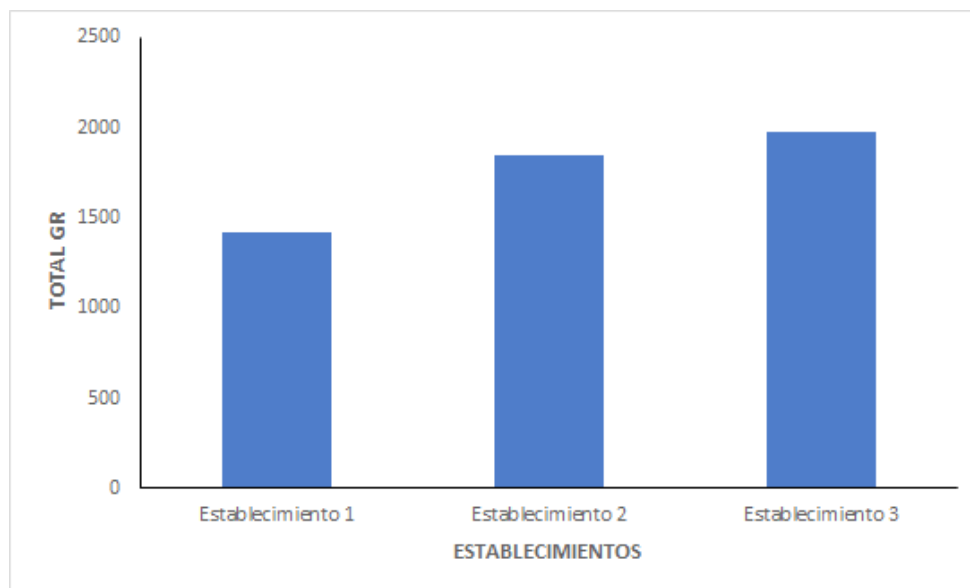
III: mejorar si es posible.

Figura 3. Nivel de riesgo NR en los establecimientos de fundición



NR tiene un rango entre 20-4 000.

Figura 4. Grado de repercusión GR en los establecimientos de fundición



Donde: GR tiene un rango entre 1 500 y 5 000 con niveles de peligrosidad alto, medio y bajo.

Tabla 1. Nivel de intervención Ni de las variables independientes

Establecimiento	Manejo de reactivos	Almacenamiento de reactivos	Emisiones gaseosas	Disposición y tratamiento final de residuos sólidos y líquidos	Utilización de EPP	Instalaciones Técnicas y Señalización	Comunidad Cercana
	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
COODMILLA	II	III	I	III	III	III	II
Comercializadora Gauss	II	II	I	II	II	III	II
D y A Trading	II	II	I	II	II	III	II

DISCUSIÓN

Inicialmente, se encontró que 2 de los establecimientos se encuentran dentro del área urbana, lo cual puede provocar repercusiones en la comunidad. Es importante y urgente, realizar las medidas correctivas de todas las variables independientes para así asegurar una mitigación y control de riesgos asociados a la fundición y refinación de oro en el municipio de la Llanada (Nariño). De manera homóloga, se pueden mejorar las técnicas de recuperación de oro, adoptando métodos estudiados, como el propuesto por Loveras y cols¹² en 2019 o la investigación expuesta por Lozada e Isa¹³.

Según la Guía Técnica Colombiana GTC-45, el nivel de riesgo se puede calcular a través del producto del nivel de probabilidad (NP) y el nivel de consecuencia (NC) que son valores estandarizados y calificados según la observación y la exposición a trabajadores. El nivel de riesgo está comprendido entre valores de 20 y 4 000 y los valores dentro de estos límites definen la situación en la que se encuentra alguna actividad, como lo indica la figura 5. Luego de medir el nivel de riesgo se decide si el riesgo es aceptable o no.

De acuerdo con los datos obtenidos, las emisiones gaseosas en la fundición y refinación de oro a pequeña escala representan una actividad crítica con un alto nivel de riesgo y debe ser suspendida esta actividad hasta que el riesgo este bajo control.

De acuerdo al protocolo de fundición y refinación de oro, las emisiones gaseosas se presentan en todos los procedimientos, tanto en las adiciones de ácido nítrico como en la fundición y refinación por llama como tal. Estas emisiones gaseosas afectan directamente la salud e integridad de los trabajadores al igual que contaminan el medio ambiente debido a que los gases son emitidos directamente sin previo tratamiento. El manejo de reactivos, su almacenamiento y su disposición final de los residuos sólidos y líquidos se debe corregir y mejorar, puesto que, si se sigue realizando esta actividad sin los elementos de protección personal-EPP, el nivel de riesgo puede aumentar significativamente¹⁰.

Para el almacenamiento de residuos y su disposición final, se deben adoptar medidas, en donde estos residuos, sean recolectados por personal pertenecientes a empresas responsables del manejo de residuos químicos.

Figura 5. Significado del nivel de riesgo según la GTC-45

Nivel de Riesgo y de intervención	Valor de NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	500 – 150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato.
III	120 – 40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.

Estas empresas deben estar articuladas directamente con la alcaldía municipal. De esta forma, los establecimientos pueden contar con el apoyo gubernamental y el mismo gobierno asegura una obtención de oro sostenible y con bajo nivel de repercusiones al medio ambiente.

Como bien se expuso, el acompañamiento técnico-científico es muy importante para el sector minero en el departamento de Nariño, debido a que da garantías para el mejoramiento de los procesos, manejo de reactivos y residuos. En el Trabajo de Grado desarrollado por Zarama (2022), se expone de manera clara una propuesta para el mejoramiento del proceso de fundición y refinación de oro, la cual se puede adoptar de manera extendida en el sector minero del oro a pequeña escala de veta¹⁴. También, se pueden seguir las recomendaciones expuestas en la *Guía sobre medio ambiente, salud y*

seguridad para fundiciones, de manera que, se tenga un amplio conocimiento y seguimiento de las actividades mineras¹⁵.

En ese orden de ideas, la minería del oro a pequeña escala es la actividad de la cual depende la mayor parte de la población del municipio de La Llanada, por lo que es pertinente invertir en la implementación tecnologías apropiadas que permitan obtener una mejor recuperación del metal precioso y que disminuyan los riesgos sobre la salud de las personas y los daños ambientales. Las sustancias químicas utilizadas en los procesos de fundición y refinación de oro en el municipio de La Llanada como ácido nítrico, bórax, sal de nitro y demás, resultan ser tóxicas y perjudiciales tanto para la comunidad como para el medio ambiente, puesto que no se manipulan con los debidos elementos de

protección personal ni existe un verdadero control sobre las emisiones y los residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se generan, siendo los gases los más contaminantes y representativos.

De acuerdo con un estudio realizado en establecimientos de fundición y refinación de oro en Colombia, se logró identificar y cuantificar los principales residuos gaseosos como lo indican las tablas 2 y 3 y residuos líquidos que se liberan indicados en la tabla 4 en el proceso mencionado¹⁶.

De manera similar, en la fundición y refinación de oro a pequeña escala el uso de ácido nítrico libera gases tóxicos (NO_x) que son cuantificados como lo muestra la tabla 3.

La figura 6, indica la formación y expulsión de gases en la fundición y refinación de oro que son liberados al ambiente y/o absorbidos por los trabajadores.

De igual manera, se encontró un valor de pH inferior a 2 correspondiente a vertidos de ácido nítrico; los niveles de cadmio, cobre, níquel y plata en los residuos líquidos resultantes de la refinación del oro con HNO_3 a las tres concentraciones usadas, superan los límites permitidos por las normas sobre vertimientos presentando mayores concentraciones de los mismos al utilizar el ácido nítrico al 50 % en volumen. El nivel de cinc (Zn) es cercano al límite establecido y los demás parámetros, como el contenido de plomo, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y temperatura, cumplen con la normatividad mostrada en la tabla 5.

Tabla 2. Resultados de los niveles de gases emitidos durante el proceso de fundición y refinación de oro

Muestra	O ₂ (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	SO ₂ , ppm (mg/m ³)	NO _x , ppm (mg/m ³)	Temperatura Humos °C (°F)
1	8,0	2,32	4,07	5 000 131 102,25	1 143 (2 150,9)	135 (275)
2	6,4	2,33	11,15	320 (838,54)	5 000 (9 409)	279 (534)
3	0,2	2,34	10,20	2 363 (6 192,12)	5 000 (9 409)	195 (383)
4	0,0	2,34	11,75	2 164 (5 670,65)	5 000 (9 409)	190,6 (375)
promedio	3,65	2,33	9,29	2 461,75 (6 450,9)	4 035,75 (7594,5)	

Tabla 3. Resultados de los niveles de vapores NO_x emitidos durante la fundición y refinación de oro con ácido nítrico

Descripción y punto de reacción evaluado	Masa NO _x (µg)	Concentración NO _x a condiciones de referencia (mg/m ³)
HNO ₃ (16 %) inicio	885 ± 41	564
HNO ₃ (16 %) intermedio	42 355 ± 1 948	26 104,5
HNO ₃ (16 %) final	1 005 ± 46	63,87
HNO ₃ (40 %) inicio	1 717 ± 79	1 068
HNO ₃ (40 %) intermedio	44 605 ± 2 052	28 040,80
HNO ₃ (40 %) final	519 ± 24	325,90
HNO ₃ (50 %) inicio	679 ± 31	427,01
HNO ₃ (50 %) intermedio	2 621 ± 121	1 651,19
HNO ₃ (50 %) final	477 ± 22	299,97

Tabla 4. Metales encontrados en residuos líquidos en fundición y refinación de oro

METALES
Cadmio
Cobre
Níquel
Plata
Plomo
Zinc
Arsénico

En cuanto a los residuos sólidos, los principales residuos se denominan escorias. Las escorias son residuos que se aglutinan en la fundición y refinación de oro a través de adición de sales. Las escorias son almacenadas para posteriormente volver a fundirse y extraer rastros de oro que no se alcanzaron a separar en la primera fundición. Finalmente, las escorias son arrojadas a la basura doméstica que tiene como destino final el relleno sanitario.

A su vez, la encuesta arrojó resultados importantes en cuanto a la salud de los trabajadores. Si bien los

trabajadores manifiestan contar con una salud “buena”, informaron que han presentado previamente problemas de salud a causa de la actividad desarrollada. La tabla 7 muestra los principales problemas de salud presentados por trabajadores de los establecimientos de fundición y refinación de oro.

Aunque la mayoría de los establecimientos reciclan los residuos sólidos y líquidos que se producen, no existen depósitos adecuados y señalizados para su almacenamiento y una vez el oro presente en ellos es recuperado, estos se depositan en el relleno sanitario y/o vertidos en los desagües sanitarios sin un tratamiento previo de neutralización, lo que está afectando los suelos, el agua y la biodiversidad de ecosistemas cercanos.

En todos los establecimientos de fundición, el residuo mayoritario corresponde a las emisiones gaseosas, que no controlan con instalaciones técnicas adecuadas como campanas extractoras con filtros y trampas que impidan que estos gases se concentren, permanezcan en el lugar donde se realiza la fundición y refinación del oro y se transformen en gases inertes que no afectarían la salud y bienestar de la persona que realiza la labor o que se liberen al medio ambiente, y con posibilidades de poder afectar, a la población cercana¹⁷.

De acuerdo a las tablas 2 y 3, los gases que mayoritariamente son liberados en la fundición y refinación de oro a pequeña escala corresponden a SO_2 y NO_x . Estos gases son altamente reactivos con el agua del ambiente, generando ácidos que pueden provocar lluvias ácidas. El óxido de azufre (IV) reacciona con agua para formar ácido sulfuroso. El ácido sulfuroso es encargado de acidificar fuentes hídricas, provocar quemaduras en las hojas de las plantas y ocasionar problemas en la piel y la salud de las personas debido a su naturaleza corrosiva.

De manera homologa, el dióxido de azufre puede oxidarse en el medio ambiente y formar anhídrido sulfúrico que a su vez reacciona con el agua y forma ácido sulfúrico, que al igual que el ácido sulfuroso, es un ácido altamente corrosivo.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (año), el dióxido de azufre, en las emisiones industriales ocasiona gran repercusión a la salud de las personas; el dióxido de azufre se asocia con problemas respiratorios y asmáticos de acuerdo con Orellano y Quaranta (2021), se encontraron asociaciones positivas entre la exposición a corto plazo al SO_2 ambiental y la mortalidad por todas las causas y respiratoria. Estas asociaciones fueron de sensibilidad y se consideraron de certeza moderada o alta en tres de las cuatro combinaciones de exposición-resultado o alta certeza en tres de las cuatro combinaciones de exposición-resultado. Según la OMS, el nivel guía de calidad del aire recomendado a corto plazo (24 horas) para el dióxido de azufre es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁸.

Figura 6. Emisiones gaseosas de la fundición y refinación de oro



Tabla 5. Límites máximos permisibles por la normatividad colombiana para vertimientos de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a cuerpos de agua

Parámetro	Unidades	Valor permisible (normal)
Cadmio	Cd (mg/L)	0,05
Cobre	Cu (mg/L)	1,0
Níquel	Ni (mg/L)	0,5
Plata	Ag (mg/L)	0,5
Plomo	Pb (mg/L)	0,2
Zinc	Zn (mg/L)	3,0
Arsénico	As (mg/L)	0,1
Hierro	Fe ((mg/L)	2,0
Sólidos sedimentables	SS (mg/L)	2,0
Sólidos suspendidos totales	SST (mg/L)	50
pH	U. pH	6-9
Temperatura	°C	<30°

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2008.

Basados en la tabla 2, Los niveles de SO₂ liberados en la fundición y refinación de oro superan los niveles recomendados por la OMS, de haber una exposición prolongada a este gas, se presentarían serios problemas para la salud.

Los NO_x son una familia de gases de óxidos de nitrógeno compuesta principalmente por monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO se oxida con facilidad, dando lugar a NO₂ rápidamente una vez presente en el medio ambiente, dichos efectos adversos son de muy diversa naturaleza. Pueden producir sobre la salud humana: inflamación de las vías aéreas, afecciones de órganos, como hígado o bazo, o de sistemas, como el sistema circulatorio o el inmunitario, que propician a su vez infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias. Sobre el medio ambiente pueden producir: acidificación y eutrofización de ecosistemas, afecciones metabólicas, limitación del crecimiento vegetal. Los procesos de acidificación pueden también afectar a las edificaciones.

Por otra parte, los NO_x contribuyen, igualmente, de forma secundaria a la formación de partículas inorgánicas (por ser precursores del ácido nítrico, HNO₃, y por tanto del nitrato, NO₃⁻ en partículas), y también actúan como precursores de la formación de ozono (O₃) y de otros contaminantes fotoquímicos (por ejemplo, al reaccionar con compuestos orgánicos volátiles (COVs), lo que potencialmente agrava las consecuencias mencionadas sobre la salud y el medio ambiente y conlleva efectos sobre el clima¹⁹.

La OMS establece que el nivel guía de calidad del aire recomendado a corto plazo (24 horas) para dióxido de nitrógeno es de 25 µg/m³. De acuerdo a los valores obtenidos en la medición de gases en la fundición y refinación de oro, los niveles de NO_x sobrepasan los

valores recomendados por la OMS representando un riesgo para la salud²⁰.

En cuanto a los residuos líquidos, es importante realizar una neutralización de las aguas residuales puesto que la acidez de estas puede provocar una reducción drástica de pH en las fuentes hídricas y ocasionar problemas en el ecosistema debido a que los sistemas ecológicos tanto como flora y fauna necesitan de condiciones apropiadas para desarrollar sus reacciones metabólicas; al alterar alguna de estas condiciones, los organismos no realizaran su ciclo vital de manera óptima. Otros de los residuos liberados son los metales cadmio, cobre, níquel y plata que exceden los niveles permitidos

Tabla 6. Estándares de emisión admisibles de SO₂ y NO_x al aire para fuentes fijas de actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%

Parámetro contaminante	Flujo del contaminante (Kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (norma) (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material particulado (PM)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de azufre (SO ₂)	Todos	550	500
Óxidos nitrosos (NO _x)	Todos	550	500

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2008.

Tabla 7. Descripción de Algunos Problemas de Salud Presentados por los Trabajadores de los Establecimientos de Función y Refinación de Oro

Descripción de algunos problemas de salud presentados por los trabajadores de los establecimientos de fundición y refinación de oro							
Trabajadores	Quemaduras por ácido en alguna parte del cuerpo	Problemas respiratorios leves por inhalación de humos	Quemaduras por uso de llamas fundentes	problemas de la vista a causa de la actividad	uso de medicina alternativa o que no pertenezca al sistema de salud para curar afecciones ocurridas desempeñando su trabajo	visitas a centros de salud u hospitales para curar afecciones ocurridas desempeñando su trabajo	problemas graves de salud a corto plazo
Establecimiento 1	Sí	en algunas ocasiones	No	en incremento	Sí	No	No
Establecimiento 2	Sí	en algunas ocasiones	No	No	Sí	No	No
Establecimiento 3	Sí	en algunas ocasiones	No	en incremento	Sí	No	No

por la normatividad colombiana. Estos metales considerados metales pesados presentan un alto riesgo de contaminación por su bioacumulación. Este hecho conlleva un gran número de problemas tanto en la vida de las plantas, ya que estos metales acaban depositados en los suelos transportados hasta los mismos por los ríos, como por ejemplo la disminución del crecimiento o el amarillamiento de las hojas (clorosis), como en la vida humana, donde los efectos pueden ser erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso central y periférico o la muerte²⁰.

Como lo indicó la tabla 6, los niveles de emisiones gaseosas en el proceso de fundición y refinación de oro por medio de llama de oxiacetileno y ácido nítrico sobrepasan los niveles permitidos en Colombia²¹. De igual manera, los establecimientos, al no contar con un sistema de aireación y purificación de aire, ocasionan que estos gases sean liberados al medio ambiente.

Por su parte, los residuos sólidos, al igual que los líquidos tienen metales pesados en su composición. Estos residuos al ser sólidos son desechados en rellenos sanitarios sin una correcta separación y rotulado para su destino final. Debido a la naturaleza de las escorias (metales pesados y óxidos metálicos) son absorbidas en los ecosistemas a través de la tierra aumentando su concentración y bioacumulación provocando la esterilización de la tierra y reabsorción en los animales.

Ahora bien, la tabla 7 indicó los principales problemas de salud que presentan los trabajadores de los establecimientos de fundición y refinación de oro. De acuerdo a lo mencionado por los trabajadores, cuando presentan algún problema de salud ocasionado en la ejecución de sus actividades de trabajo, los trabajadores no recurren a centros de salud u hospitales, sino que utilizan remedios caseros o medicinas complementarias que no se encuentran dentro del sistema de salud municipal como cura. Por otra parte, los trabajadores manifestaron tener cuadros de tos no tan frecuentes y que se intensifican cuando realizan la fundición y refinación de oro. Los problemas relacionados con la visión se han presentado de manera gradual a través del tiempo; lo que no permite concluir que la causa sea el desarrollo de la actividad, pero se puede estimar que, de acuerdo a lo mencionado a lo largo de esta investigación, la exposición a diferentes sustancias químicas, ya sea líquidas, sólidas y gaseosas provocan efectos que van en contra de la salud de cualquier ser vivo. También, es importante mencionar, que la comunidad cercana a estos establecimientos ha presentado problemas de salud cuando el clima es soleado como se mencionó anteriormente. Estos problemas van desde cuadros de tos, hasta picor en los ojos.

De acuerdo a lo encontrado en la investigación, el establecimiento con mayor nivel de riesgo en la actualidad corresponde al *Establecimiento 3*, donde se realiza la fundición en un local muy pequeño ubicado en la terraza de una casa y cerca de otras viviendas, por lo que los residuos producidos representan un peligro latente para dicha población. En un mediano o largo plazo, el lugar con mayor grado de repercusión o vulnerabilidad resulta ser el *Establecimiento 3*, pues de seguir ubicado donde se encuentra en el momento y sin contar con la infraestructura e implementos de seguridad necesarios, el nivel de riesgo escalaría a niveles más altos, lo cual representa un peligro para los trabajadores, la población cercana y el medio ambiente. De acuerdo al nivel de intervención, todos los riesgos dentro de las variables deben ser analizados y corregidos. De esta manera, el nivel de riesgo reduciría su valor. Las emisiones gaseosas tienen un nivel de intervención *crítico*. De esta manera, se deben suspender todas las actividades que generen emisiones gaseosas y corregir los problemas asociados, como la implementación de campanas de extracción con filtro y trampa de gases. Esta medida es importante debido a que reduce unos de los principales riesgos que presentan los establecimientos; es entendible que, la adquisición de las campanas involucra una inversión de dinero, pero el beneficio a nivel técnico es alto, lo que permite realizar operaciones de manera segura y con un mayor volumen de trabajo sin importar las condiciones atmosféricas presentes que conduciría a no tener retrasos con las fundiciones y garantizaría un mayor ingreso de dinero. Por lo anterior, se recomienda realizar una campaña masiva de sensibilización y capacitación con el apoyo de instituciones estatales y la Universidad de Nariño, a fin de optimizar la refinación y fundición de oro, particularmente para mejorar el proceso de la utilización de sustancias químicas y el proceso de manejo de residuos. La manipulación de sustancias químicas es importante tanto para prevenir accidentes, como para trabajar de manera eficiente, lo que reduce los costos por el desperdicio de reactivos y permite mejorar la reutilización de sustancias químicas y algunos residuos. De manera análoga, reduciría los riesgos por derrame, quemaduras entre otras, así mejorando la condición técnica en estos establecimientos. La implementación y capacitación en medidas correctivas frente a la problemática generada por los procesos de fundición y refinación no es difícil de llevar a cabo considerando que la comunidad involucrada es consciente de los efectos negativos y la amenaza que representan las condiciones en las que se realizan estos procesos. En este sentido, se debe realizar un acompañamiento técnico-científico para el apoyo y la gestión de modelos de trabajo eficientes, sostenibles y con gran beneficio para la población involucrada. Igualmente se requiere abordar los siguientes aspectos, recomendados por Pantoja Timarán y Pantoja Barrios (2016):

- Formular y gestionar un proyecto de producción más limpia que busque el mejoramiento de los establecimientos de fundición y refinación de oro y simultáneamente en la reducción de los riesgos sobre la salud de las personas.
- Implementar programas de seguridad industrial y salud ocupacional.
- Formular planes de contingencia de prevención de la salud frente a los riesgos químicos ocasionados por la minería del oro, en general.
- Finalmente, se recomienda realizar un monitoreo permanente a los establecimientos de fundición y refinación de oro y emisiones y residuos, para determinar sus niveles de concentración y riesgo de envenenamiento de personas y efectos negativos en suelos, aguas y aire.

El apoyo de la gestión de modelos de trabajo eficiente, permite a la empresa o establecimiento formalizar sus prácticas de trabajo al igual que permite que sus trabajadores se capaciten y logren un fortalecimiento estructural de la empresa la cual permitiría realizar contrataciones estatales o regionales que involucren desarrollo de prácticas limpias y amigables con el medio ambiente y cumpliendo con la reglamentación requerida por la norma colombiana.

De manera similar, es necesario realizar una nueva línea de estudio para futuras investigaciones en donde esté de manera intrínseca un análisis de viabilidad técnica económica y organizacional para las tecnologías apropiadas que estén inmersas en la fundición y refinación de oro a pequeña escala en el departamento de Nariño-Colombia.

BIBLIOGRAFIA

1. Agencia Nacional de Minería. (s.f.). Así es nuestra Colombia minera. Disponible en: <https://www.anm.gov.co/?q=Asi-es-nuestra-Colombia-minera>.
2. Delgado Martínez AM, Pantoja Timarán F. (2015). Structural analysis for the identification of key variables in the Ruta del Oro, Nariño Colombia. DYNA. 2015; 82(191):27–33.
3. Pantoja Timarán FH, Pantoja Barrios SD. Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia. Revista Facultad de Ciencias Económicas. 2016; 24(2).
4. Agencia Nacional de Minería. (s.f.). Caracterización de la actividad minera departamental Departamento de Nariño. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/bullets_narino_01-06-2017.pdf.
5. DANE. Censo general 2019 [Internet]. La Llanada: [editorial desconocido]; noviembre de 2019 [consultado el 14 de enero de 2024]. 4 p. Boletín. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/censo2019/perfiles/narino/la_llanada.pdf.
6. García Jacome E (s.f.). El oro en Colombia. Sociedad Geológica de Colombia, 33(113): 9-13. Disponible en: https://www.sogeocol.edu.co/documentos/el_oro_en_col.pdf.
7. Varela Gasque AS. Instituto de Química, UNAM - Home [Internet]. procedimiento de operación para el manejo de ácidos fuertes; junio de 2020 [consultado el 18 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.iquimica.unam.mx/images/iqseguro/001_Manejo_de_acidos_fuertes.pdf.
8. New Jersey Department of health. The Official Web Site for The State of New Jersey [Internet]. Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas; mayo de 2010 [consultado el 15 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1759sp.pdf>.
9. Mindiola M, Pedraza J, Escalante H. Índice de carga contaminante para los vertimientos generados durante el proceso de refinación química de oro en los talleres de joyería de Bucaramanga. Dyna rev.fac.nac.minas. 79(156).
10. Vilela-Pincay W, Espinosa-Encarnación M, Bravo-González A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración. 2020; 8:210–28.
11. ICONTEC Internacional, Consejo Colombiano de Seguridad. 2012. Guía Técnica Colombiana GTC 45 (2a ed.). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). http://132.255.23.82/sipnvo/normatividad/GTC_45_DE_2012.pdf.
12. Ruiz J, Carmona M, Bolívar W, López C. Valoración de emisiones en los procesos de refinación del oro en joyería y recomendaciones de gestión ambiental. Revista Espacios. 2017;38(46).
13. Lovera D, Basilio Villanueva J, Romero Astupiñan S. Optimización de la fusión del oro de un mineral sulfurado empleando el número de fusión aurífera. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo. 2019; 5(2).
14. Zarama, S. Riesgo químico sobre la salud de las personas y el medio ambiente ocasionado por las principales sustancias químicas que se utilizan en la fundición y refinación del oro en pequeña escala [Trabajo de grado inédito]. Universidad de Nariño. 2022.
15. Lozada M, Iza M. Estudio para el mejoramiento de la fusión de calcinas con el uso de carbonato de calcio en la carga fundente. Rev Politec. 2010; 29(01).
16. Rubio Romero, JC (2004). Métodos de evaluación de riesgos laborales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. <http://dct.digitalcontent.com.co/sview/default.aspx>.
17. Corporación Financiera Internacional. Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fusión y refinado de metales. (2007). 27 p. Disponible en: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/6431d38f-9b4e-42c1-b6a550c843fea365/0000199659ESes+Smelting+and+Refining+rev+cc.pdf?MOD=AJPERE&CVID=nPtjs.e>.
18. Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wpcontent/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>.
19. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N. Short-term exposure to sulphur dioxide (SO2) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. Environment International. 2021; 150:106434.

20. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). Evaluación De la Calidad del Aire en España. Madrid: Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. 289 p. Informe anual 665-21-045-X. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadaireespana2021_tcm30-545170.pdf.
21. Pabón Guerrero SE, Benítez Benítez R, Sarria Villa RA, Gallo Corredor, J A. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. Entre Ciencia e Ingeniería. 2020; 14(27): 9–18.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica

NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO _____
 PERSONA A CARGO _____
 DIRECCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO _____
 CANTIDAD DE PERSONAS QUE LABORAN EN EL ESTABLECIMIENTO _____
 CANTIDAD DE ORO PROCESADO APROXIMADO MENSUAL _____

1. Ficha técnica

Establecimiento	1.1 Dimensiones de infraestructura física (m)			1.2 Tipo de instalación			
	Alto	Ancho	Largo	Gas	Energía	Agua	Iluminación
1							
2							
3							

2. Tipo de reactivos

Establecimiento	2.1 Pretratamiento			2.2 Fundición			2.3 Refinación	
	Agua lluvia	Ácido nítrico	Alcohol	Bórax	Sal de nitró	Bicarbonato	Sal de Nitro	Cobre
1								
2								
3								

3. Equipos y elementos empleados

Establecimiento	2.1 Pretratamiento					
	Recipiente pirex	Recipiente Acero inoxidable	Batea de aluminio	Cuchara	Soplete	Crisol
1						
2						
3						
Establecimiento	2.2 Fundición					
	Soplete	Lingotera	Cuchara de arcilla	Crisol	Pistola	Turbo troch
1						
2						
3						
Establecimiento	2.3 Refinación					
	Soplete	Cuchara de arcilla	Crisol	Recipiente acero inoxidable		
1						
2						
3						

4. Disposición de residuos

Establecimiento	4.1 Residuos sólidos			4.2 Residuos líquidos		
	Almacenados	Reciclados	Relleno sanitario	Almacenados	Reciclados	Vertido directo
1						
2						
3						

5. Emisiones Gaseosas

Establecimiento	5.1 Apariencia y cantidad		5.2 Control		
	Con pretratamiento	Sin pretratamiento	Campana con extractor	Campana de tiro natural	Ninguno
1					
2					
3					

6. Higiene y Seguridad Industrial

Establecimiento	6.1 Utilización de elementos					
	Botiquín	Mascarilla	Guantes	Overol	Gafas	Extinguidor
1						
2						
3						

Anexo 2. Entrevista

1. ¿Hace cuánto tiempo se dedica a realizar el proceso de fundición?
2. ¿Cómo obtuvo los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta labor?
3. ¿Ha realizado alguna capacitación en los últimos cinco años?
4. ¿Ha recibido apoyo por parte de entidades gubernamentales?
5. ¿Considera que el lugar y las herramientas de trabajo son las más adecuadas para realizar el proceso de fundición y refinación de oro?
6. ¿Conoce la peligrosidad de las sustancias químicas en la fundición y refinación de oro? ¿Qué normas de seguridad de manejo de sustancias químicas en la fundición y refinación de oro conoce?
7. ¿El manejo de las sustancias químicas ha ocasionado problemas de salud en su empresa y en su familia? ¿Cuáles? ¿Qué tratamiento le dio?

8. En su opinión, ¿qué le hace falta para mejorar las condiciones de trabajo en su empresa?
9. ¿Realiza algún tratamiento a los residuos para controlar y minimizar la contaminación del medio ambiente? ¿Cuáles?
10. ¿Cuál es la propuesta para mejorar el proceso productivo en su empresa?

Anexo 3. Protocolo de proceso fundición y refinación de oro

1. Inicialmente, pasarle un imán por encima del material a fundir.
2. Pesar la cantidad de oro que se va a fundir.
3. Lavar el oro repetidas veces empleando agua lluvia o de quebrada. En caso de lavarse con agua tratada hervir repetidas veces para eliminar la presencia de cloro.
4. Secar el oro, aunque no totalmente.

5. Aún húmedo, adicionar ácido nítrico diluido (20-25 %) y dejar aproximadamente durante todo un día para que la eliminación de sulfuros sea lo más lenta posible.
6. Eliminar el ácido nítrico (reciclar) y enjuagar con agua lluvia.
7. Adicionar ácido nítrico concentrado de tal manera que se tape toda la cantidad de oro presente y dejar nuevamente por un tiempo determinado por la calidad de material a trabajar, puede variar de 10 minutos a 1 día, si no es posible dejarlo mucho tiempo, adicionar a la mezcla un poco de alcohol y someter a calentamiento evitando salpicaduras durante 3-4 horas.
8. Eliminar ácido nítrico (reciclar), lavar nuevamente el oro con agua sin tratar, colocar en una batea de aluminio y secar sobre un quemador de gas agitando constantemente.
9. Reunir el oro y depositar en una cuchara de arcilla o crisol.
10. Adicionar bórax y aplicar una flama baja mediante soplete, pistola o turbo torch (oxígeno, gas propano) hasta la formación de una pasta.
11. Incrementar la temperatura y agregar sal de nitro y bicarbonato con el fin de eliminar impurezas y aglutinar las partículas de oro.
12. Cuando la mezcla se encuentra líquida y homogénea detener la fundición y separar la escoria que se forma.
13. Al observar el oro como una sola gota de mercurio, realizar el vaciado rápidamente sobre una lingotera caliente previamente tratada con humos y aceite para cerrar los poros que haya en ella de tal forma que se forme una barra con una superficie lo más lisa posible, pues de la calidad de la barra depende el valor asignado al oro.
14. Si la barra presenta un aspecto quebradizo colocar nuevamente en la cuchara con una segunda cantidad de sal de nitro para fundir nuevamente.
15. Una vez terminada la fundición, depositar el lingote sobre una solución de ácido nítrico diluido para eliminar grasas.
16. Lavar el lingote con agua y jabón.
17. Pesarse el lingote en seco y en agua para determinar su ley.

Si se quiere mejorar la ley del oro realizar una segunda fundición repitiendo los procedimientos descritos anteriormente, aunque pueden presentarse pérdidas de oro.