

**EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A SUSTANCIAS QUÍMICAS
ASOCIADAS AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PLANTA DEL EPAMSCAS COMBITA, ADSCRITO AL INSTITUTO
NACIONAL PENITENCIARIO Y CARCELARIO INPEC**

AUTOR

Angie Vanessa Sánchez Quevedo

Alexis Marín Camacho

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE MEDICINA
ESPECIALIZACION HIGIENE INDUSTRIAL

BOGOTA

2022

**EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A SUSTANCIAS QUÍMICAS
ASOCIADAS AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PLANTA DEL EPAMSCAS COMBITA, ADSCRITO AL INSTITUTO
NACIONAL PENITENCIARIO Y CARCELARIO INPEC**

AUTOR

Angie Vanessa Sánchez Quevedo

Alexis Marín Camacho

ASESOR TEMATICO E INVESTIGATIVO

Hernán Antonio Valderrama

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE MEDICINA
ESPECIALIZACION HIGIENE INDUSTRIAL
BOGOTA

2022

Aprobación

Director de investigación

Directora de la División de Posgrados

Directora de la especialización de higiene Industrial

Jurado

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Guía de contenido

Lista de tablas y gráficas.....	6
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	12
Marco teórico.....	13
Problema.....	27
Objetivos.....	38
Justificación.....	39
Propósitos.....	42
Aspectos metodológicos.....	43
Aspectos éticos.....	44
Resultados.....	45
Discusión.....	81
Conclusiones.....	82
Referencias.....	85
Anexos.....	89

Lista de tablas y gráficas

Figura 1. Funcionamiento de tratamiento por lodos activados.....	18
Figura 2. Componente de la Planta de tratamiento de aguas residuales.....	19
Figura 3. Esquema del sistema de tratamiento.....	20
Figura 4. PTAR del EPMSC de Santa Rosa de Viterbo.....	27
Figura 5. Pozo Profundo.....	28
Figura 6. Tanques de almacenamiento de agua tratada.....	29
Figura 7. Válvulas para manejo del agua.....	30
Figura 8. Válvulas de distribución de agua potable.....	30
Figura 9. Zona de remoción de hierro y manganeso.....	31
Figura 10. Zona de clarificación.....	32
Figura 11. Sistema de filtración.....	32
Figura 12. Zona de clarificación y adición de químicos.....	33
Figura 13. Aplicación de Formato de Datos de Exposición Cal Hidratada.....	45
Figura 14. Aplicación de Formato de Datos de Exposición Hipoclorito de Calcio.....	46
Figura 15. Proceso de Trabajo PTAR Combita.....	48
Figura 16. Tanques de almacenamiento de aguas tratadas.....	49
Figura 17. Red de distribución de agua potable.....	50
Figura 18. Zona de cloración PTAR Combita.....	51
Figura 19. Zona de cloración PTAR Combita.....	52
Figura 20. Evaluación Puesto de Trabajo según Formato Datos Exposición.....	53

Figura 21. Variables Metodología evaluación cualitativa INRS.....	55
Figura 22. Clases de Peligro Metodología evaluación cualitativa INRS.....	56
Figura 23. Clases de Cantidad Metodología evaluación cualitativa INRS.....	58
Figura 24. Clases de Cantidad Metodología evaluación cualitativa INRS.....	58
Figura 25. Clases de Exposición Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS.....	59
Figura 26. Clases de Riesgo Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS.....	59
Figura 27. Clases de Riesgo Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS.....	60
Figura 28. Caracterización de Riesgo Por Inhalación Metodología evaluación cualitativa INRS....	61
Figura 29. Categorización del riesgo por exposición dérmica.....	62
Figura 30. Clases de peligro en función del etiquetado, los TLVs y la naturaleza del AQ.....	63
Figura 31. Determinación de las clases de superficies expuestas y puntuaciones.....	64
Figura 32. Clases de frecuencia, exposición y puntuación de cada clase.....	65
Figura 33. Tabla de caracterización del riesgo por contacto con la piel.....	66
Figura 34. Matriz de aplicación metodología Inhalatoria NTP 937.....	67
Figura 35. Matriz de aplicación metodología dérmica NTP 897.....	69
Figura 36. Clasificación de la peligrosidad del agente según frases R.....	72
Figura 37. Clasificación de la peligrosidad del agente según frases H.....	72
Figura 38. Agentes químicos peligrosos en contacto con la piel o los ojos.....	74
Figura 39. Niveles de volatilidad de los líquidos.....	75
Figura 40. Tendencia de los sólidos a formar polvo.....	76
Figura 41. Cantidad de sustancia utilizada.....	76
Figura 42. Determinación del nivel de riesgo potencial por exposición a agentes químicos.....	77

Figura 43. Etapas y variables del modelo COSHH Essentials.....	79
Figura 44. Proceso de Cloración en la PTAR Combita 80.....	80

Introducción. La planta de tratamiento de agua residual PTAR de Combita, Boyacá del INPEC no tiene estudios exposicionales a sustancias químicas ni de los efectos en salud producto de la actividad laboral, por lo cual es fundamental realizar esta investigación para cualificar dicho riesgo y establecer controles jerarquizados para prevenir la exposición.

Objetivo. Determinar la exposición ocupacional asociadas con las sustancias químicas, en el tratamiento de aguas residuales, en la planta del EPAMSCAS Combita, adscrito al Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC.

Materiales y Métodos. El presente estudio se desarrolla con una metodología de enfoque cualitativo tipo descriptivo usando un instrumento de recolección de información de los trabajadores de la PTAR Combita, Boyacá.

Resultados. Posterior a la aplicación de las metodologías cualitativas de exposición inhalatoria y dérmica se evidenció que en la PTAR de Combita no fue posible la medición del riesgo debido a que no hubo datos de cantidad ni frecuencia de exposición.

Conclusión. La PTAR Combita no cumple con los estándares de ley con respecto al Sistema Globalmente Armonizado, ni tiene datos de cantidad y frecuencia de utilización de SQ, por lo cual no se logró cualificar la exposición ni establecer controles.

Palabras claves. Aguas residuales, agentes químicos, patología exposicional, trabajadores de plantas de tratamiento de aguas, riesgo biológico.

Introduction. The WWTP wastewater treatment plant in Combita, Boyacá of the INPEC does not have exposure studies to chemical substances or the effects on health resulting from work activity, therefore it is essential to carry out this investigation to qualify said risk and establish hierarchical controls to prevent exposure.

Objective. Determine the occupational activity associated with chemical substances in wastewater treatment at the EPAMSCAS Combita plant, attached to the National Penitentiary and Prison Institute INPEC.

Materials and methods. The present study is developed with a descriptive qualitative approach methodology using an information collection instrument from the workers of the WWTP Combita, Boyacá.

Results. After the application of the qualitative methodologies of inhalation and dermal exposure, it was evidenced that in the Combita WWTP it was not possible to measure the risk because there were no data on quantity or frequency of exposure.

Conclusion. The Combita WWTP does not comply with the legal standards regarding the Globally Harmonized System, nor does it have data on the quantity and frequency of use of SQ, for which it was not possible to qualify the exposure or establish controls.

Keywords. Wastewater, chemical agents, exposure pathology, water treatment plant workers, biological risk.

Introducción

Belzona (1) describe como la planta de tratamiento de aguas residuales es un proceso el cual permite la evacuación de sólidos para la reducción de materia orgánica y contaminantes, mediante diversos procesos como tratamiento primario, reservorio, separación de partículas sólidas, sedimentación, tratamiento terciario, desinfección y tratamiento de lodos (1), permitiendo así la aplicación y control de los virus patógenos transmitidos por el agua mediante el proceso de oxidación. Zhang et al. (2) menciona como las PTAR contienen unas características físicas específicas en las cuales se emplean sustancias químicas tales como: 1-Metilnaftalina, 2-Metilnaftalina, Bifenil, 1-etilnaftalina, 1,2 Dimetil naftalina, 2-etilnaftalina, difenilmetano, 1,3-dimetilnaftalina, 2,4-dimetilnaftalina, Acenaftalina, 1-Metilfluoreno, entre otras. (2)

Entre los métodos de desinfección de las aguas residuales se encuentran la ultrafiltración, Ultrasonido, Osmosis inversa, Electroforético, Ebullición, Congelación, Cloro, Gases, Hipoclorito, Dióxido de Cloro, Cloraminas, Radiación ionizante, Gamma Ultravioleta, Permanganato de Potasio, Yodo, Bromo, Ozono, Peróxido de Hidrogeno y Plata entre otras. (1)

Muzaini et al. evaluó en su investigación la exposición de dichos trabajadores ya que tiene un mayor riesgo respiratorio en las plantas de alcantarillado. Los estudios son escasos respecto al impacto que esta actividad genera en la salud, por lo que es necesario identificar los efectos potenciales en la salud del trabajador en la manipulación de sustancias químicas en dichas plantas del tratamiento de aguas residuales. (3)

Marco Teórico

Higuera (4) estudia y describe las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales, describiendo que estas son un producto inevitable de toda actividad humana, generan una contaminación hídrica, tienen gran presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos que al estar disueltos limitan el uso de estas aguas residuales como el consumo humano y animal, el uso agrícola, industrial y de conservación de flora y fauna por el riesgo de toxicidad aguda y crónica. (4)

Dentro de las características fisicoquímicas de las aguas residuales (4) se encuentra la materia orgánica, conocida como la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas. Esta formado principalmente por Carbono, Hidrogeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre, proteínas, carbohidratos, aceites, grasas y surfactantes presentes en los detergentes. (4)

Se encuentra la demanda bioquímica de oxígeno como la medida indirecta de la cantidad de materia orgánica en una muestra de agua, determinada por el consumo de oxígeno que hacen los microorganismos para degradar los compuestos biodegradables. De igual forma, Higuera (4) describe el oxígeno disuelto como un parámetro fundamental de los ecosistemas acuáticos y su valor debería estar por encima de los 4 mg/l, para garantizar la supervivencia de la mayor parte de los microorganismos superiores. Es usada como indicador de contaminación o de salubridad de los cuerpos hídricos. (4)

El vertido de aguas residuales aporta una gran cantidad de materia orgánica que sirve de alimento para hongos y bacterias encargadas de la mayor parte de su descomposición. Higuera (4) describe las bacterias como los principales responsables de la degradación y estabilización de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, los hongos predominan en aguas residuales de tipo industrial debido que resisten muy bien los valores de pH bajos y la escasez de nutrientes. En cambio, los

protozoos, sobre todo los ciliados se alimentan de bacterias y materia orgánica, mejorando la calidad microbiológica de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. (4)

Para el tratamiento de aguas residuales existen procesos fisicoquímicos y biológicos, (4) los procesos fisicoquímicos hacen uso de las diferencias en ciertas propiedades entre el contaminante y el agua o mediante la adición de reactivos empleados para variar la forma del contaminante buscando condiciones de separación del líquido. Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante y con ello la eliminan del agua en forma de nuevas células o de gases. (4)

En la PTAR del INPEC de Yopal, Casanare (4) se realizaron mediciones y se evidenciaron por medio de colorimetría, complexometría, evaporación de solvente, turbidimetría, entre otras; la presencia de cloruros, Hierro, Cloro residual, Cloro total, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno total, fosforo, dureza caótica, dureza total, conductividad, solidos totales, turbidez, coliformes totales, E. Coli y Salmonella sp, entre otros. (4)

A continuación, se establecen los conceptos más relevantes asociados a la exposición de sustancias químicas en el tratamiento de aguas residuales.

Tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas residuales ha buscado reducir los niveles de contaminación de las aguas previo a que estas lleguen al alcantarillado como medida de intervención ante la contaminación ambiental; la reducción de estos contaminantes es llevada a cabo mediante bacterias y otros microorganismos para luego ser separados del agua. (5)

Dicho proceso cuenta con 10 fases para poder llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales dentro de las cuales se encuentran:

1. Tratamiento primario
2. Reservorio
3. Áreas de cribas
4. Separador de partículas sólidas
5. Sedimentación primaria
6. Tratamiento secundario
7. Tanques de sedimentación secundario
8. Tratamiento terciario
9. Desinfección
10. Tratamiento de lodos.

Los procesos mencionados anteriormente, se encuentran sujetos a las reglamentaciones por lo que en la actualidad se da alcance al sector industrial, escuelas y establecimientos que sean generadores de sustancias químicas, desperdicios de fábricas, operaciones de servicios de comida entre otras. Por consiguiente, se hace indispensable el proceso de tratamiento de agua residuales (5)

Contaminación ambiental

De igual forma el IDEAM (6) plantea en el Estudio Nacional del Agua en Colombia que la calidad del agua es un factor que limita la disponibilidad de este recurso y restringe el rango de posibles usos. Los ríos reciben y transportan cargas de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos, al igual que son receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por

procesos de erosión, bien sea por de origen natural o por acción del hombre. En lo que tiene que ver con la calidad del agua, solo recientemente se ha avanzado en el diseño de políticas, programas y proyectos orientados a corregir la situación de los acueductos del país, que vierten sus aguas servidas sin tratar a los cauces fluviales. Entre las fuentes principales de contaminación de las aguas superficiales se destacan: las aguas residuales domésticas e industriales, el escurrimiento de agua en zonas de producción agrícola y ganadera, el arrastre de compuestos presentes en la atmósfera por las aguas lluvias y las aguas procedentes de los procesos de extracción minera. (6)

Las industrias emplean sustancias químicas que finalizado su proceso son desechadas a las alcantarillas, así las cosas, la contaminación es entendida como la presencia en el ambiente de sustancias o elementos dañinos para el ecosistema, dividida en diferentes aspectos como la contaminación del aire, suelo y agua siendo un factor cíclico entre los mismos. Estos pueden reducir su nivel, si la población llevara a cabo actividades que requirieran mayor esfuerzo físico sin necesidad de aumentar la contaminación que se genera por los automóviles y las industrias. (6)

El Cadmio es uno de los metales tóxicos producidos de manera natural que más genera riesgos en la salud de los seres humanos, dado que se encuentra en el medio ambiente como uno de los contaminantes derivados de los residuos agrícolas e industriales, el cual mediante la exposición ocupacional por inhalación tiene el potencial de generar en los trabajadores cáncer de mama, pulmón, próstata, nasofaringe, páncreas y riñón o en su defecto desarrolla la osteoporosis, lo que ha permitido estudiar la fermentación microbiana como método para la eliminación del Cadmio en las aguas residuales y suelo. (6)

La OMS clasifica el Cadmio (7) como un metal con efecto tóxico para el sistema renal, esquelético y respiratorio debido a su clasificación como cancerígeno en humanos. Está presente en el ambiente en bajas concentraciones, sin embargo, puede viajar largas distancias desde la fuente de

emisión por el transporte atmosférico. Este se acumula en muchos organismos como los moluscos y los crustáceos, y en bajas concentraciones se puede encontrar en vegetales, cereales y raíces almidonadas. La exposición humana ocurre por el consumo de comida contaminada, por la inhalación activa y pasiva de humo de tabaco y la inhalación por trabajadores en la industria metálica. Las acciones regionales y nacionales deben estar encaminadas a disminuir la liberación ambiental del cadmio para disminuir la exposición ocupacional y ambiental. (7)

A consecuencia de lo descrito, (7) la disminución de la contaminación ambiental es un reto actual para la sociedad, ya que tiene como finalidad remediar el daño propiciado por el ser humano en los procesos industriales, agrícolas, químicos, entre otros. Debido a que no existe una planeación estratégica se generan impactos ambientales y de allí las consecuencias sobre la salud del humano y los animales. (7)

Exposición Ocupacional

Con base en el Decreto 1072 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (8) la exposición ocupacional es entendida como:

“la interacción (8) que tiene el trabajo con los riesgos que pueden generar un accidente de trabajo o en su defecto una enfermedad laboral, derivada de la actividad que ejecuta en el área de trabajo”.

Carbone (9) menciona la diferencia de fondo entre la palabra expuesto y exposición, las que, por experiencia resultante del trabajo con muchos higienistas e incluso con personas del área de la salud, ya sea en forma errónea o de manera muy simplificada. Se señala el término expuesto como cualitativo, en contraposición al término exposición que es cuantitativo. Expuesto se identifica con o sin contacto con lo que puede o no dañar, exposición se identifica con una serie de condiciones,

estados, situaciones que tienen una variación entre 0 y 1, pues son cuestiones relacionadas con la probabilidad de daño. (9)

Sustancias Químicas

Las sustancias químicas de interés en una planta de tratamiento de aguas residuales son las peligrosas, las cuales pueden ser definidas por el INSHT (10) como aquellos elementos químicos, compuestos o mezclas, tal como se presentan en su estado natural o como se producen en la industria. Dichas sustancias químicas originan riesgos para la salud inmediatos, o efectos crónicos en las personas o seres vivientes expuestos. Adicionalmente presentan riesgos por las propiedades fisicoquímicas, al ocasionar incendios, explosiones o descomposiciones violentas en presencia de calor, oxígeno, agua y otros factores externos. (10)

Las principales características perjudiciales de las sustancias (10) y los productos químicos en general son la toxicidad, inflamabilidad, explosividad, reactividad violenta y radioactividad. INSST (10) definió un agente químico como todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no. El riesgo químico es la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la exposición a agentes químicos. Esta exposición viene determinada por el contacto de éste con el trabajador, normalmente por vía inhalatoria o por vía dérmica. Para calificar un riesgo químico desde el punto de vista de su gravedad, se deben valorar conjuntamente la probabilidad de que se produzca daño y la severidad de este. (10)

La gravedad del riesgo depende no solo de la naturaleza (10) del agente químico en cuestión, sino también de las condiciones individuales del trabajador expuesto y de las características de la exposición, la cual está determinada por factores propios del puesto de trabajo como son el tiempo de exposición, la peligrosidad del agente químico, el grado ventilación del puesto de trabajo, y por último, las condiciones ambientales que puedan favorecer la absorción del tóxico, como son la temperatura ambiente o el esfuerzo físico que requiere el trabajo. (10)

Las sustancias peligrosas para la salud o sustancias tóxicas pueden causar lesiones ingresando al organismo por diversas vías. (10) Antes de comenzar a manejar un producto químico es necesario utilizar todas las fuentes de información disponibles para saber con exactitud a que tipo de sustancia se está exponiendo un trabajador para de esta forma disminuir el grado de exposición. (10)

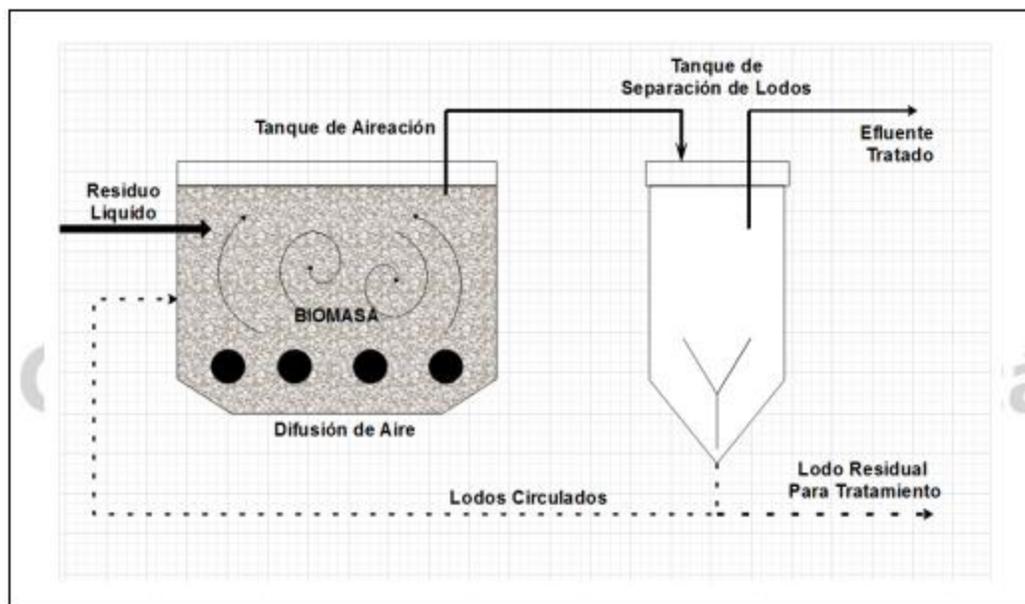
Riesgo Químico

El riesgo químico (11) se puede definir como la posibilidad que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la exposición a agentes químicos, y para ello, hay que tener en cuenta la naturaleza del agente químico y las condiciones de operación, es de especial importancia en la estimación del riesgo estudiar estas condiciones o factores que pueden afectar a la materialización del peligro. Los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos pueden clasificarse como riesgos asociados a la seguridad de los agentes químicos, en los que la materialización del peligro daría lugar a un accidente, y riesgos derivados de la exposición a agentes químicos, que podrían dar lugar a enfermedades e intoxicaciones. (11)

Los peligros asociados (11) a la seguridad de los agentes químicos se materializan en accidentes que pueden dar lugar a incendios, explosiones o reacciones químicas peligrosas que pueden suponer daños a los trabajadores, a las instalaciones e incluso provocar accidentes mayores.

Según el Manual de mantenimiento y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales del EPMSC de Santa Rosa de Viterbo, (12) la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de los centros penitenciarios y carcelarios, se componen de un reactor biológico de lodos activados por aireación extendida como tratamiento principal, que permite la remoción de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual, la cual son captados y transportados por el sistema de recolección de aguas residuales dentro del establecimiento. (12)

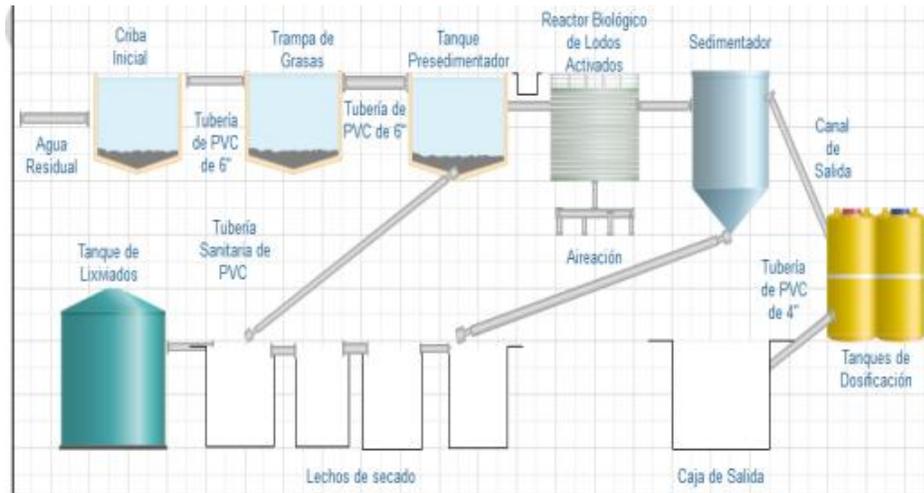
En la Teoría del Tratamiento de Lodos Activados, (12) los lodos activados corresponden a un proceso de tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales, donde se utilizan microorganismos para dar descomposición de los contaminantes presente en el agua. El cultivo de microorganismos se dispersa en forma de flóculo en el reactor con condiciones de aireación, allí forman una masa microbiana activa, que se conoce como lodo activado. (12) El término activado se refiere a la capacidad de lodos de estabilizar la materia orgánica soluble y/o en estado coloidal. La mezcla del agua residual y los lodos activados se denomina licor mezclado. Los flóculos biológicos formados en el reactor pasan a un sedimentador donde una parte se recircula y la otra se retira dando tratamiento adecuado a los lodos. En este proceso se clarifica el efluente limpiando al canal de vertimiento. (12)

Figura 1. Funcionamiento de tratamiento por lodos activados

Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. 2020.

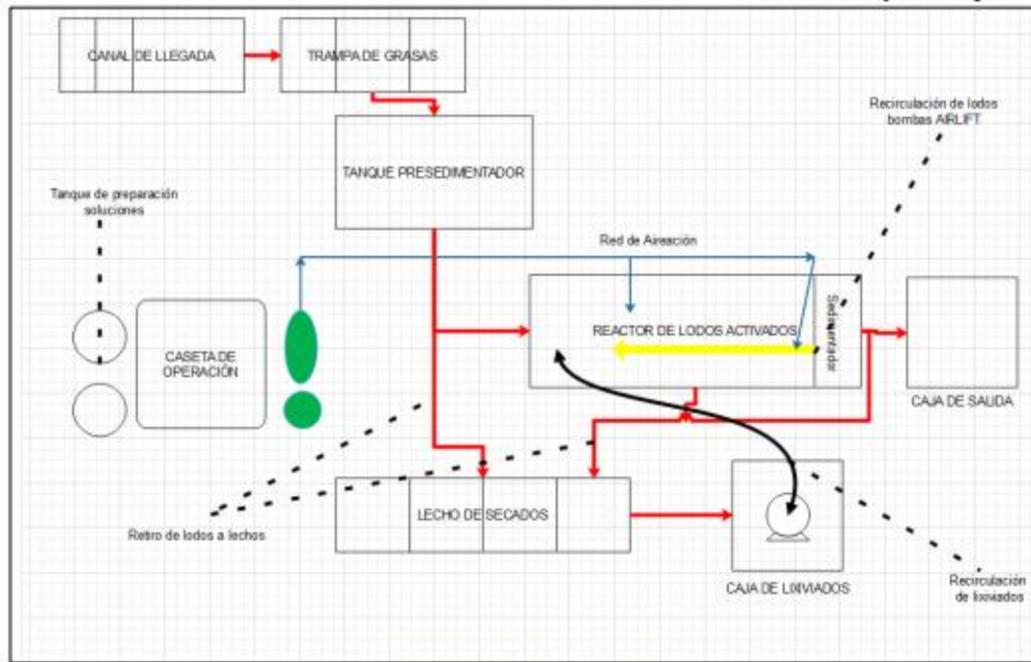
Los componentes de la PTAR (12) son: un caudal de diseño de 1.2 Lit/seg para una población de aproximadamente 600 internos, una criba de gruesos para retención de residuos sólidos de gran tamaño, una criba de pinos para retención de residuos sólidos de menor tamaño, trampas grasas, tanque presedimentador, reactor de lodos activos, sedimentador, sistema de aireación, una bomba de recirculación de lodos, tipo AIRLIFT, un canal de salida con vertederos tipo V y punto de aplicación de cloro, caja de salida agua tratada, canal recubierto de concreto para salida de efluente a zanja de infiltración, caja de lixiviados, bomba de circulación de lixiviados de 2.0 hp marca Barnes, ubicada en caja de lixiviados y cuatro lechos de secado de lodos. (12)

Figura 2. Componente de la Planta de tratamiento de aguas residuales



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

La PTAR del INPEC, (12) se compone de un reactor biológico de lodos activados como tratamiento principal, que permite la remoción de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual que son captados y transportados por el sistema de recolección de aguas residuales dentro del establecimiento. Adicionalmente, el sistema de tratamiento cuenta con una estructura de operación unitaria que permite la remoción de grasas, aceites, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, entre otros. (12)

Figura 3. Esquema del sistema de tratamiento

Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMS Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Estado del Arte

En la base de datos PubMed, se realizó una búsqueda con las palabras “*chemical substances*” AND “*wastewater treatment*”, la cual se filtró a artículos originales de los últimos 5 años. Se encontró el artículo “*Systematic Review of Potential Occupational Respiratory Hazards Exposure Among Sewage Workers*” (3), el cual habla sobre los trabajadores del alcantarillado, ya que tienen un mayor riesgo de exposición a varios peligros respiratorios ocupacionales potenciales que se encuentran en las plantas de alcantarillado. Aunque estudios previos discuten la concentración de riesgo respiratorio ocupacional que impacta la salud respiratoria de los trabajadores del alcantarillado, los resultados son escasos y variados. Por lo tanto, es necesario identificar los peligros respiratorios potenciales en las plantas de tratamiento de aguas residuales para aclarar los efectos

sobre la salud respiratoria a corto y largo plazo. Por lo tanto, esta revisión sistemática (RS) tiene como objetivo revisar críticamente estudios previos que investigan los peligros respiratorios potenciales encontrados en plantas de alcantarillado y sus efectos en la salud respiratoria de los trabajadores de alcantarillado. (3)

En la base de datos Google Academics, se realizó una búsqueda con las palabras “*chemical substances*” AND “*wastewater treatment*”, la cual se filtró a artículos originales de los últimos 5 años, y se encontró el artículo “*Wastewater treatment, reuse, and disposal-associated effects on environment and health*” (13) escrito por Choudri B, Al-Awadhi T, Charabi Y, Al-Nasiri N. Donde se hace una revisión de la literatura publicada en el año 2019 relacionada con el tratamiento y reutilización de aguas residuales y efectos sobre el medio ambiente y la salud humana. La revisión cubre la gestión de aguas residuales, la reutilización, la eliminación de microorganismos y los distintos componentes químicos. Además, también cubre investigaciones enfocadas en plantas de tratamiento de aguas residuales, disposición y gestión de lodos y biosólidos en el medio ambiente.

Se mencionan (13) los principales peligros químicos de las PTAR, como lo son en primera medida los productos farmacéuticos y de cuidado personal. Se estudió la detección de la concentración de productos farmacéuticos en el afluente y el efluente de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Los datos informados sobre interpretaciones mensuales mostraron la presencia de analgésicos antiinflamatorios y antibióticos. Los principales antibióticos detectados en las aguas residuales tratadas fueron paracetamol, sulfametoxazol, trimetoprima y diclofenaco. Sin embargo, la concentración de antiepilépticos y carbamazepina se detectó independientemente de la temporada. Este estudio concluyó que el proceso de tratamiento biológico y oxidación fisicoquímica podría utilizarse en la eliminación de productos farmacéuticos. (13)

Al mismo tiempo, (13) se examinaron trece muestras de agua subterránea ubicadas cerca del sitio de riego por aspersión y los resultados mostraron la detección de acetaminofén y trimetoprima de forma regular en el afluente de la planta de tratamiento. En comparación, la concentración de productos de cuidado personal en la muestra de agua subterránea fue menor que los efluentes de la planta de tratamiento. (13)

En la base de datos Science Direct, se realizó una búsqueda con las palabras “*chemical substances*” AND “*wastewater treatment*”, la cual se filtró a artículos originales de los últimos 5 años. Se encontró el artículo “*Wastewater treatment plant workers’ exposure and methods for risk evaluation of their exposure*” (14) escrito por Rui L., Frederiksen M., Uhrbrand K., Li Y., Ostergaard C. El trabajo en plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) puede estar asociado con síntomas respiratorios y diarrea. El objetivo de este estudio fue conocer la exposición de los trabajadores de las EDAR a las bacterias y endotoxinas transportadas por el aire, y el potencial inflamatorio (TIP) de su exposición, y evaluar el riesgo que presenta la exposición. (14)

Los bioaerosoles (14) se recolectaron utilizando muestreadores personales y estacionarios en una cámara de rejilla y un área de tanque de aireación. De las muestras personales, tres de 131 especies bacterianas, *Enterobacter cloacae*, *Staphylococcus aureus* y *Yersinia enterocolitica* se clasifican en el Grupo de riesgo 2. Siete bacterias adicionales de las muestras estacionarias pertenecen al Grupo de riesgo 2. Sin embargo, dado que 43 de 106 niveles de exposición superan los OEL sugeridos, el TIP de exposición fue elevado y se asoció con exposición bacteriana, y los trabajadores de la PTAR estuvieron expuestos a bacterias patógenas, es importante un enfoque continuo en las medidas preventivas. La identificación de bacterias a nivel de especie en muestras personales fue necesaria en la evaluación de riesgos, y la medición de la composición microbiana hizo posible el seguimiento de la fuente. (14)

En la base de datos PubMed, se realizó una búsqueda con las palabras “*chemical substances*” AND “*wastewater treatment*”, la cual se filtró a artículos originales de los últimos 5 años. Se encontró el artículo “*Respiratory disorders associated with occupational inhalational exposure to bioaerosols among wastewater treatment workers of petrochemical complexes*” escrito por Jahangiri M., Neghab M., Nasiri G., Aghabeigi M., Khademain V., Rostami R., Kargar V., Rasooli J. (15) En este artículo se revisa como los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales están expuestos a una amplia gama de químicos y contaminantes biológicos. Con el objetivo de determinar si la exposición a bioaerosoles en las condiciones normales de trabajo en las plantas de tratamiento de aguas residuales está asociada con algún cambio significativo en la prevalencia de los síntomas respiratorios y las capacidades de la función pulmonar. (15)

Por medio de una metodología (15) donde se escogieron 198 empleados de plantas de tratamiento de aguas residuales y 99 personas no expuestas El cuestionario estándar de síntomas respiratorios de la Sociedad Torácica Estadounidense (ATS) fue utilizado para determinar la prevalencia de síntomas respiratorios. Las pruebas de función pulmonar fueron realizadas a cada participante. Como resultado se determinó que la prevalencia de síntomas respiratorios entre las personas expuestas fue significativamente más alta que el de las personas no expuestas. (15) Los valores medios de la mayoría de los parámetros de las pruebas de función pulmonar fueron significativamente más bajos en las personas expuestas en comparación con las del grupo de comparación. Como conclusión se encontró un aumento de la prevalencia de síntomas respiratorios y disminución de la función pulmonar. Los parámetros de prueba de funcionamiento pueden atribuirse a la exposición a bioaerosoles liberados por las plantas de tratamiento de aguas residuales. (15)

Problema

El Ministerio de Ambiente colombiano (16) determinó en la resolución 1207 de 2014 que las aguas residuales tratadas son aquellas sometidas a operaciones o procesos de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso; y de esta forma ser para uso agrícola, para el riesgo de cultivos de pasto, forrajes para alimentación de animales y no alimenticios para humanos y animales, y jardines en áreas que no sean domiciliarias, entre otras. Adicionalmente, pueden ser usadas para el uso industrial en descarga de aparatos sanitarios, limpieza mecánica de vías, riego de vías para control de material particulado, sistemas de redes contra incendio, entre otras. (16)

Choudri et al. (13) estudió los distintos peligros que presenta una planta de tratamiento de aguas residuales, como lo son los peligros químicos y microbiológicos. Los principales peligros químicos son la exposición a sustancias químicas, metales pesados y otros productos, junto con los efectos nocivos que estos traen para la salud de los trabajadores. (13) Y entre los peligros microbiológicos está la exposición ocupacional a bacterias resistentes a antibióticos, parásitos, virus y hongos. (13)

Choudri et al. (13) de igual forma determina que en un estudio realizado en una planta de tratamiento de aguas residuales se estableció la presencia de medicamentos como acetaminofén y trimetropin sulfá, de la misma manera que la concentración de productos de cuidado médico se encontró en una menor cantidad. En un estudio de vegetales irrigados con aguas residuales tratadas se evidenció la presencia de Manganeso, Cadmio, Plomo, Hierro y Cromo. (13) Se evidenció la presencia de tricloroetileno y diclorometano en altas concentraciones, los cuales son compuestos orgánicos volátiles. De igual forma, se presentan altas concentraciones de pesticidas en las aguas residuales, con la presencia de organoclorados y organofosforados los cuales son citotóxicos y genotóxicos. (13)

Dentro de los peligros microbiológicos (13), se encuentran las bacterias como el *enterococcus sp.*, *coliformes*, y la *Escherichia coli*, todas enterobacterias en su mayoría provenientes de la materia fecal, de allí el peligro de la patogénesis en humanos y animales. Los parásitos dentro de las aguas residuales son variados, sin embargo, los más predominantes son *Entamoeba Coli*, *Clostridium perfringens* y *Giardia lamblia*, siendo potenciales productores de patologías gastrointestinales que pueden ser fatales. (13) El virus predominante en aguas residuales es el rotavirus con alta patogenicidad en vías gastrointestinal de humanos adultos y menores de edad. A pesar de que los peligros microbiológicos no son la causa de este estudio, son un factor importante de patogenicidad en la exposición ocupacional de estos trabajadores. (13)

Rui et al. (14) determinó como el laborar en una planta de tratamiento de aguas residuales puede estar relacionada con síntomas respiratorios, deterioro de la función pulmonar y diarrea producida por lo patógenos *enterococcus faecalis*, *clostridium perfringens* y *staphylococcus aureus*. Se ha evidenciado como la exposición ocupacional de los trabajadores de dichas plantas a las endotoxinas bacterianas están asociadas con el desarrollo de síntomas gastrointestinales, al igual que modelos basados en la exposición diaria han sido usados para determinar el riesgo de exposición a una bacteria aerotransportada u otros componentes peligrosos en aerosol. Los estudios realizados han demostrado que, con respecto al contacto con piel, la inhalación es la principal entrada dentro del cuerpo humano para los componentes aerosoles. (14)

Jahangiri et al. (15) describe como los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales están expuestos ocupacionalmente a un amplio rango de químicos y contaminantes biológicos como bacterias y hongos resultando en un incremento del riesgo de enfermedades respiratorias. (15) Las patologías respiratorias y el deterioro de la función respiratoria son los efectos

principales de la exposición a bioaerosoles, y como resultado de ello se presenta una inflamación del tracto respiratorio e irritación de vías aéreas. (15)

Los trabajadores en este estudio (15) realizado en Toronto, Canadá demostraron síntomas de fatiga (50%), problemas de piel (46%), irritación faríngea (42%), tos productiva (38%), bronquitis crónica (36%), irritación ocular (30%), y reducción de la capacidad pulmonar para reserva de aire. (15) Y de esta forma, Jahangiri et al. (15) demostró con este estudio como los operadores de limpieza y los guardas de seguridad de las plantas de tratamiento de aguas residuales están en un más alto nivel de exposición a bioaerosoles por vía inhalatoria y dérmica. (15)

Higuera (4) plantea como el Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC cuenta en Colombia con sistemas de tratamiento de agua residual aerobio, el cual, aunque cumple con el 90% de la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno queda con un remanente de 102 mg/ml y de Demanda Química de Oxígeno 125 mg/ml; lo cual (4) genera un riesgo para la formación de sustancias orgánicas más peligrosas como los metanos trihalogenados. Ya que a la salida de la planta se le aplica cloro al agua y esta queda con un residual de 1.46 mg/L, además del riesgo microbiológico por presencia de patógenos que resisten el proceso de cloración. (4)

Belzona et al. (1) describe como en el proceso de tratamiento del agua se generan una gran cantidad de residuos que terminan en los lodos de la PTAR, al momento de retirarlos usualmente arrastran un 95% de agua; la cual ocupa un alto volumen facilitando la putrefacción y reduciendo los lodos mediante la eliminación parcial del agua. Posteriormente, estos son llevados a unos digestores aeróbicos, donde se procede a su estabilización mediante procedimientos biológicos que permiten la degradación de la materia orgánica emisora de gas metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno, amoniaco y agua. (1)

Li W et al. (17) exponen como en China se presentan quejas recurrentes con respecto a los malos olores emanados por las PTAR, ya que estos tienen la capacidad de difundirse a gran distancia afectando así el estado de salud de los trabajadores de dichas plantas. Situación que llevó a la decisión de recolectar muestras del olor emanado para estudios de contaminantes químicos con un resultado de presencia sulfuro de hidrogeno y metilmercaptano como responsables de dichos olores producto de la disgregación de las sustancias químicas en los procesos de putrefacción. (17)

La PTAR del EPMSC Santa Rosa de Viterbo (12) consta de un pozo profundo de 94 metros de profundidad, una torre de aireación compuesta de cinco banderas construidas en fibra de vidrio, una estructura principal de sedimentación construida en concreto impermeabilizado, dos baterías filtrantes, sistema de dosificación de cloro, dos tanques de almacenamiento de agua tratada, una red de tuberías de distribución.

Figura 4. PTAR del EPMSC de Santa Rosa de Viterbo.



El sistema de abastecimiento cuenta (12) con una fuente de abastecimiento (pozo profundo) donde se realiza la captación del agua cruda. El pozo presenta una profundidad total de 94 metros, en su interior se encuentran tuberías de acero al carbono de 84 metros de la cual se encuentra instalado un equipo de bombeo de 7.5 hp. En cuanto a la producción de agua, el pozo tiene un nivel estático a los 70 metros y un nivel de bombeo de 79,8 metros, el caudal se encuentra entre 2,25 L/s a 2,10 L/s (datos obtenidos del informe de prueba de pozo profundo realizado el mes de octubre de 2019 por IPRACOL S.A.S., empresa contratada por el consorcio para Boyacá. (12)

Figura 5. Pozo Profundo



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

El establecimiento penitenciario tiene dos tanques de almacenamiento de agua tratada (12) uno es el tanque para los patios cuyas dimensiones son 4.1m X 2.5 m X 5.5 m y un tanque para las instalaciones administrativas con dimensiones 4.1m X 2.0m X 10.5 m. (12)

Figura 6. Tanques de almacenamiento de agua tratada



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Por labores de mantenimiento rutinario (12), desinfección, suministro de agua o posible contingencia, se cuenta con dos válvulas de tipo bola de 2" instaladas a la salida del sistema de filtración y en la entrada de tanques de almacenamiento de agua potable para permitir direccionar el flujo al tanque seleccionado. (12) La red de distribución principal inicia desde la salida por gravedad de los tanques de almacenamiento de agua tratada llega a la caja de válvulas, lugar donde se reúnen a la red de tuberías principal controlando la distribución por medio de válvulas con medidores. (12)

El sistema de tratamiento, (12) en su fase de aireación consiste en cinco bandejas construidas en fibra de vidrio con orificios de 5/8 y medio de retención en carbón coque; permitiendo el paso del agua cruda proveniente del pozo de bombeo de agua subterránea desde la flauta superior atravesando cada bandera y cae a la zona de clarificación. (12)

Figura 7. Válvulas para manejo del agua.



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Figura 8. Válvulas de distribución de agua potable.



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Figura 9. Zona de remoción de hierro y manganeso.



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

El paso del agua (12) en cada bandeja con carbón coque, adiciona oxígeno al afluente y a su vez inicia reacciones químicas permitiendo la oxido-reducción del hierro y el manganeso, disminuyendo considerablemente la concentración de los metales en el agua cruda que provienen de pozos profundos. Si el agua cruda del pozo trae cantidades significativas de sólidos en suspensión como el Hierro y el manganeso, el lecho filtrante de carbón coque presentará colmatación en un periodo de tiempo que puede oscilar de dos (2) meses a un año, por tanto, se deberá realizar el recambio del material filtrantes para renovar su correcto funcionamiento. Posterior a esto viene la zona de clarificación, zona de filtración y por último la zona donde se realiza la cloración. (12)

Figura 10. Zona de clarificación



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Figura 11. Sistema de filtración



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

Figura 12. Zona de clarificación y adición de químicos



Consortio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Imagen] En territorio. 2020.

De esta forma, (12) como problema principal de esta investigación se plantea que la salud de los trabajadores se puede afectar por una exposición constante a los peligros higiénicos derivados de la manipulación no contralada de sustancias químicas en el tratamiento de las aguas residuales en el centro penitenciario de Combita, Boyacá. Existe un vacío investigativo al respecto del proceso de exposición ocupacional de los trabajadores de dicha PTAR con respecto a las sustancias químicas a las que están expuestos y los efectos en salud resultado de dicha exposición. (12)

Pregunta de investigación

¿Cuál es la intensidad de la exposición ocupacional a sustancias químicas utilizadas en la PTAR?

Preguntas derivadas

¿Cuáles son las sustancias químicas y los riesgos asociados, en la operación de la PTAR Centro Carcelario de Cómbita?

¿Cómo es cualitativamente la exposición ocupacional a las sustancias químicas empleadas en el tratamiento de agua residual de la PTAR de Combita, Boyacá?

¿Qué tipos de controles exposicionales se podrán plantear en la PTAR EPAMSCAS?.

Objetivos

Objetivo general:

Determinar la exposición ocupacional asociadas con las sustancias químicas, en el tratamiento de aguas residuales, en la planta del EPAMSCAS Combita, adscrito al Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC.

Objetivos específicos

1. Identificar las sustancias químicas y los riesgos asociados, en la operación de la PTAR Centro Carcelario de Cómbita.
2. Evaluar cualitativamente la exposición ocupacional a sustancias químicas, empleadas en el tratamiento de agua residual.
3. Proponer controles a la exposición ocupacional a partir de los resultados de la evaluación de la planta de tratamiento de agua residual PTAR del EPAMSCAS Combita.

Justificación

Higuera (4) señala como en el Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC de Colombia, la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales sirve para generar agua para reúso en regar pastos, cultivos, plantaciones forestales y de consumo animal. Se tiene en cuenta que el agua residual generada por la comunidad es una tarea complicada debido a la falta de cultura en la sociedad para economizar y reutilizar este líquido vital, por lo cual es importante que cada actividad asociada con la reutilización del agua debe ser planeada y planificada teniendo en cuenta los aspectos sociales, técnicos, económicos y topográficos para ahorrar y economizar agua. (4)

Zhang et al. (2) estudiaron como el desarrollo de la producción industrial y el incremento de la población urbana causó un incremento dramático de las aguas residuales, las cuales deben ser tratadas de una manera segura y amigable con el medio ambiente antes de ser devueltas al ambiente. Como sea, Zhang et al. mencionan (2) como las plantas de tratamiento de aguas residuales no logran remover completamente los contaminantes, quienes son los generadores de la polución en las aguas. Estas plantas de tratamiento de aguas pueden volverse una fuente de componentes orgánicos volátiles que se convierten posteriormente en contaminantes atmosféricos. Dentro de estos compuestos orgánicos volátiles están el ácido perfluorooctánico, componentes polifluoroalquílicos, entre otros. (2)

El (PAH) un hidrocarburo aromático policíclico, ha recibido últimamente una intensa atención debido a su carcinogenicidad, mutagenicidad y contaminación a nivel tóxica. Zhang et al. (2) describe algunas de las sustancias químicas a las que están expuestas los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre las que están, Naftalina, 1-Metilnaftalina, 2-Metilnaftalina, Bifenil, 1-etilnaftalina, 1,2 Dimetil naftalina, 2-etilnaftalina, difenilmetano, 1,3-dimetilnaftalina, 2,4-dimetilnaftalina, Acenaftalina, 1-Metilfluoreno, entre muchos (2).

Existe (2) una toxicidad en los expuestos al PAH debido a su interferencia en las funciones de las membranas celulares y en los sistemas enzimáticos, de la misma manera que los metabolitos del PAH pueden producir disrupción del DNA y daño celular en los organismos expuestos. El (PAH) está clasificado como carcinogénico tipo 2A por la IARC; la inhalación de esta sustancia química puede aumentar el riesgo de padecer cáncer de pulmón por la exposición a lo largo de la vida. (2)

La Organización Mundial de la Salud describe con respecto (18) al tratamiento de aguas residuales, donde existe el uso y manipulación de múltiples sustancias químicas para determinar efectos en salud para los trabajadores de las PTAR. Existe una constante emisión de gases de metano (CH_4), hidrocarburo saturado, incoloro y apolar; presentado en forma de gas en condiciones de normalidad. El metano (19) se caracteriza por su baja solubilidad en la fase líquida y su elevada persistencia en la atmósfera; proviene de la descomposición de residuos orgánicos en un 30%. Su efecto en la salud humana depende de la vía de inhalación, generando asfixia por disminución de la concentración disponible de oxígeno en el aire generando una alteración del estado de conciencia, falla ventilatoria y muerte. (19)

De igual manera, se cuenta con la exposición ocupacional a Dióxido de carbono (CO_2) (20), compuesto químico sin toxicidad agregada, dependiendo su nivel de concentración es patógeno para los trabajadores expuestos. A altos niveles de exposición genera desplazamiento del oxígeno, ya que a partir de 800 ppm se inicia la percepción de olores, con la generación de efectos en la salud como dolor de cabeza, falta de concentración, somnolencia, mareos, problemas respiratorios y en ocasiones la asfixia según la concentración a la cual están expuestos los trabajadores. (20)

Otra de las sustancias (21) que intervienen en el proceso del tratamiento de aguas residuales es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual es un gas incoloro nocivo para la salud. Esta sustancia es conocida por su constante presencia en los sistemas PTAR y presenta un fuerte olor que es generado

debido a la reducción biológica de los sulfatos. Este gas es muy tóxico y se ha posicionado como una de las principales causas de muerte entre trabajadores de los sistemas de alcantarillado, asociándose también con síntomas como fatiga, dolor de cabeza, irritación en los ojos y dolor de garganta, entre otros. (21)

Como último, el amoníaco (NH_3) (22) es una sustancia involucrada en el tratamiento de aguas residuales, ya que es producida por los seres humanos y la naturaleza. Se caracteriza como gas incoloro penetrante que se presenta en estado gaseoso; y de esta forma, genera irritación de la piel, los ojos, la garganta y los pulmones. (22)

Este estudio es necesario ya que los trabajadores de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de Combita, Boyacá tiene una alta exposición ocupacional a sustancias químicas y por consecuencia, padecen efectos en la salud. Sin embargo, no existen estudios, ni informes, ni investigaciones donde se caracterice dicha exposición, ni las sustancias químicas utilizadas en los procesos de dicha PTAR, al igual que ningún informe al respecto de los efectos en la salud de todas estas exposiciones. De igual forma, basado en esta información se podrán determinar controles y medidas preventivas para menguar dichas consecuencias en la salud de los trabajadores.

Propósito

El propósito principal de esta investigación es la identificación de las sustancias químicas y la evaluación del riesgo las consecuencias en la salud de los trabajadores de la PTAR por exposición a sustancias químicas. Para que basados en la información obtenida se puedan proponer controles y medidas preventivas para dicha PTAR y disminuir el riesgo exposicional a sustancias químicas de dicho proceso.

Aspectos metodológicos

Tipo de estudio

El presente estudio se desarrolla con una metodología de tipo descriptivo usando un formato de recolección de información de las condiciones del proceso de trabajo, las sustancias químicas empleadas y la forma de utilización por parte de los trabajadores de la PTAR Combita, Boyacá.

Instrumento de recolección

Se utilizará un Formato de recolección de datos de exposición (**Anexo 2**) donde se evaluará el riesgo de exposición a sustancias químicas por vía inhalatoria y dérmica en los trabajadores de la PTAR Combita.

Tabla 1. Desarrollo de los objetivos específicos

Objetivo Específico	Actividades	Entregable
1. Identificar las sustancias químicas empleadas en la PTAR de Combita	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección e identificación de peligros asociados a las SQ. • Inventario y Clasificación de las sustancias químicas según peligrosidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de inventario y caracterización de SQ.
2. Evaluar cualitativamente la exposición Inhalatoria y Dérmica en el puesto de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar Formato de recolección de datos de exposición. • Consolidar los resultados de la evaluación en una base de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz resultados de evaluación de la exposición ocupacional.
3. Proponer controles a la exposición ocupacional a SQ en la PTAR Combita	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar mejores prácticas de control frente a la exposición ocupacional a SQ. • Seleccionar alternativas de control a cada uno de los hallazgos según la jerarquía de controles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de controles a la exposición a sustancias químicas en la PTAR.

Autoría Propia.

Aspectos éticos

De acuerdo a la Resolución 8430 de 1.993 reglamentada por el Ministerio de Salud; (23) se determina que, para fines de este trabajo, se desarrolle un diseño de tipo teórico donde se pretende establecer una estrategia para la evaluación cualitativa de la exposición ocupacional a sustancias químicas asociadas al tratamiento de aguas residuales en la PTAR.

Basados en los principios básicos del Código Internacional de Ética para los profesionales de la Salud Ocupacional, que son servir a la salud y el bienestar social de los trabajadores, respetando su dignidad humana, a través de imparcialidad y confidencialidad de los datos (24); surge la necesidad de buscar estrategias que permitan establecer mecanismos de control frente a la exposición ocupacional a sustancias químicas asociadas al tratamiento de aguas residuales en dicha institución carcelaria. (24)

Se realizarán visitas de campo a la planta de tratamiento de aguas residuales de la sede Combita del Inpec donde por medio de aplicación del formato de recolección de datos de exposición se obtendrán los datos para formar las matrices de resultados. La institución autorizó el ingreso a los investigadores a dicha planta y la aplicación del Formato De Recolección de Datos de Exposición por medio de carta. **(Anexo 2)**

No es necesario el diligenciamiento de consentimiento informado por parte del trabajador ya que no se tomará información personal ni íntima que requiera de una autorización; sino que por el contrario se tomará información del proceso operativo de evaluación de la exposición a sustancias químicas en el puesto de trabajo. Para el ingreso a la PTAR por parte del grupo investigativo, el INPEC realizó una autorización **(Anexo 1)** para la ejecución de dicha investigación.

Resultados

Se realizó una visita presencial a las instalaciones de la PTAR Cómbita del Inpec por parte de los investigadores Alexis Marín Camacho y Angie Vanessa Sánchez el día 13 de noviembre de 2021, y de igual manera se aplicó el Formato de Recolección de Datos de Exposición (**Anexo 2**). Mediante este proceso se logró como producto del primer objetivo específico caracterizar el proceso de trabajo de la planta de tratamiento y realizar el Inventario de Sustancias Químicas (**Anexo 3**) usadas en dicha PTAR, y la revisión de las Fichas de Datos de Seguridad según las 16 secciones planteadas en el libro púrpura de las Naciones Unidas (28).

Como producto del segundo objetivo específico se realizó la determinación de la exposición ocupacional asociada a las sustancias químicas en el tratamiento de aguas residuales en la planta del EPAMSCAS Combita, adscrito al Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC. Para cumplir con dicho objetivo se aplicó la metodología simplificada de evaluación del riesgo químico del Institut National de Recherche et de Securite (INRS) para evaluación de la exposición dérmica según la NTP 897 (25) y para riesgo de inhalación según la NTP 937 (26).

Finalmente, como producto del objetivo específico tres se evidenció mediante la metodología COSHH Essentials (27), la cual se trata de un modelo para determinar la medida de control adecuada a la operación que se está evaluando para reducir hasta un nivel aceptable el riesgo por inhalación de agentes químicos, y no propiamente para determinar el nivel de riesgo existente. (27)

1. Identificación sustancias químicas empleadas en la PTAR de Combita

Se construyó un Formato de Recolección de Datos de Exposición (**Anexo 2**) el cual consta de 57 preguntas, basado en el proceso de trabajo evidenciado en la PTAR Santa Rosa de Viterbo en el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo 2020, (12) las 16 secciones de Las Fichas de Datos de Seguridad de las sustancias químicas empleadas en el tratamiento de las aguas residuales evaluadas según los estándares propuestos en el Libro Púrpura de las Naciones Unidas. (28)

El formato permitió la identificación de las sustancias químicas y la evaluación del puesto de trabajo, ya que se realizó basado en Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo 2020 (12), y en el Libro Púrpura de las Naciones Unidas. (28) donde se caracterizan las condiciones laborales de cada trabajador de dicha PTAR. En dicho Formato de Recolección de Datos de Exposición existen dos apartados para aplicación de metodologías cualitativas de evaluación de exposición dérmica e inhalatoria las cuales se explicará con detalle como producto del segundo objetivo específico.

Posterior a la visita de campo realizada a la PTAR Combita por los investigadores donde se realizó la aplicación del formato de recolección de datos de exposición a los dos trabajadores de dicha planta de tratamiento, se logró obtener información suficiente de la exposición laboral. A continuación, se expondrán cada una de las respuestas de los apartados de dicho formato correspondientes a la identificación a sustancias químicas.

Se encontró en el estudio de campo de dicha PTAR que solamente se usan dos sustancias químicas las cuales son la Cal Hidratada y el Hipoclorito de Calcio concentrado al 70%, debido a que

las condiciones del agua son buenas. El agua es potable, esto generando que la operación de la planta sea mas sencilla con respecto al tratamiento del agua y a la exposición a sustancias químicas.

El Hidróxido de Calcio es una de las sustancias químicas de proceso de la PTAR, tiene como nombre comercial Cal hidratada o Hidrato de Calcio, con número de CAS 1305-62-0, fórmula química $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en estado sólido y polvo fino, peso molecular 74.08. Ante una sobreexposición aguda es irritante para la piel, mucosas y ojos. No es inflamable en caso de incendio. En su ingestión tiene un efecto corrosivo, con quemaduras en boca, esófago, estómago, dolor abdominal, náuseas, vomito y diarrea. Como efectos de sobreexposición crónica tiene desordenes digestivos, dermatitis, ulceraciones, perforaciones del tabique nasal. Es irritante ocular, dérmico y de vías respiratorias. (29)

Como recomendaciones de manejo y almacenamiento, se determina manipular y almacenar el material con buena ventilación natural si es posible. De igual forma, la utilización de elementos de protección personal, y se recomienda almacenar en un lugar ventilado, libre de humedad, y separado de sustancias incompatibles como los ácidos. Se recomienda embalar en silos y sacos con capa interior de polietileno o empaques de papel. Tiene un TLV de 5 mg/m³. Se debe usar elementos de protección personal antipolvo en lugares poco ventilados como guantes de neopreno o PVC de caña larga, uso de gafas de seguridad, mantener lavador de ojos, y ducha en el área de trabajo. Se debe usar ropa holgada y cerrada, y camisa de manga corta hasta cubrir el cuello. (29)

El hipoclorito de calcio con numero CAS 7778-54-3, con formula química $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, es un oxidante fuerte, corrosivo, que puede causar daño al ser inhalado, causar quemaduras a los ojos y piel, y puede causar severa irritación del tracto respiratorio y digestivo con posible quemadura secundaria. El contacto con los ojos puede producir visión borrosa, enrojecimiento, dolor y quemaduras, daños a la córnea, blefaritis, y severas quemaduras con destrucción lenta de tejidos. (30)

Si es ingerido puede causar daños severos y permanentes al tracto digestivo. Causa quemaduras al tracto gastrointestinal, dolor abdominal, náusea, vómito, diarrea y puede causar la muerte. A la inhalación puede causar quemadura química al tracto respiratorio y su aspiración puede conducir a un edema pulmonar. Como medidas de almacenamiento se debe mantener herméticamente cerrado en los contenedores originales, almacenarse en área fresca, seca y bien ventilada. Conectarse a tierra todos los recipientes que lo contienen para evitar descargas electrostáticas y no almacenarse a temperaturas superiores a 52°C. (30)

Figura 13. Aplicación de Formato de Datos de Exposición Cal Hidratada.

IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS (28)		
12	¿Qué sustancias químicas son utilizadas en el proceso de tratamiento de aguas residuales? (28)	Cal Hidratada
13	¿Cada sustancia química tiene el adecuado etiquetado según el Sistema Globalmente Armonizado? (28)	No, no tienen etiquetado.
14	¿Cada sustancia química tiene Ficha de Seguridad según el SGA? (28)	Si, tiene las 16 secciones.
15	¿La Ficha de Datos de Seguridad tiene una adecuada identificación del producto? (28)	Si, en el apartado 1.
16	¿La FDS tiene la identificación del peligro (s)? (28)	Si, en el apartado 2.
17	¿La FDS tiene información sobre los componentes? (28)	Si, tiene en el apartado 3 información sobre los componentes.
18	¿La FDS tiene información sobre los primeros auxilios? (28)	Si, tiene en el apartado 4 información sobre primeros auxilios.
19	¿La FDS tiene información sobre medidas de lucha contra incendios? (28)	Si, en el apartado 5.
20	¿La FDS tiene medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental? (28)	Si, en el apartado 6.
21	¿La FDS tiene información de controles de exposición/protección personal? (28)	Si, en el apartado 8.
22	¿La FDS tiene información sobre propiedades físicas y químicas? (28)	Si, en el apartado 9.
23	¿La FDS tiene información sobre toxicología? (28)	Si, en el apartado 11.
24	¿La FDS tiene información ecotoxicológica? (28)	Si, en el apartado 12.
25	¿La FDS tiene información relativa a la eliminación de los productos? (28)	Si, en el apartado 13.
26	¿La FDS tiene información relativa al transporte? (28)	Si, en el apartado 14.
27	¿La FDS tiene información sobre la reglamentación? (28)	Si, en el apartado 15.
28	¿Qué estado físico tiene cada sustancia química?	Polvo blanco
29	¿Qué clasificación de peligrosidad tiene cada sustancia química? (28)	salud 2, inflamabilidad 0 riesgo físico 0
30	¿Qué palabras de advertencia tiene cada sustancia química? (28)	No.
31	¿Qué indicaciones de seguridad tiene cada sustancia química? (28)	No.
32	¿Qué condiciones de prudencia tiene cada sustancia química? (28)	No.

Para visualización completa enlace:

https://mega.nz/file/fPoxWChR#EtGVBjK2pxDsFI_HJ0qCDIT6DzagJIWH6bDAgusmJU

Figura 14. Aplicación de Formato de Datos de Exposición Hipoclorito de Calcio.

IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS (28)		
12	¿Qué sustancias químicas son utilizadas en el proceso de tratamiento de aguas residuales? (28)	Hipoclorito de calcio
13	¿Cada sustancia química tiene el adecuado etiquetado según el Sistema Globalmente Armonizado? (28)	No, no tienen etiquetado.
14	¿Cada sustancia química tiene Ficha de Seguridad según el SGA? (28)	Si, tiene las 16 secciones.
15	¿La Ficha de Datos de Seguridad tiene una adecuada identificación del producto? (28)	Si, en el apartado 1.
16	¿La FDS tiene la identificación del peligro (s)? (28)	Si, en el apartado 3.
17	¿La FDS tiene información sobre los componentes? (28)	Si, tiene en el apartado 2 información sobre los componentes.
18	¿La FDS tiene información sobre los primeros auxilios? (28)	Si, tiene en el apartado 4 información sobre primeros auxilios.
19	¿La FDS tiene información sobre medidas de lucha contra incendios? (28)	Si, en el apartado 5.
20	¿La FDS tiene medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental? (28)	Si, en el apartado 6.
21	¿La FDS tiene información de controles de exposición/protección personal? (28)	Si, en el apartado 8.
22	¿La FDS tiene información sobre propiedades físicas y químicas? (28)	Si, en el apartado 9.
23	¿La FDS tiene información sobre toxicología? (28)	Si, en el apartado 11.
24	¿La FDS tiene información ecotoxicológica? (28)	Si, en el apartado 12.
25	¿La FDS tiene información relativa a la eliminación de los productos? (28)	Si, en el apartado 13.
26	¿La FDS tiene información relativa al transporte? (28)	Si, en el apartado 14.
27	¿La FDS tiene información sobre la reglamentación? (28)	Si, en el apartado 15.
28	¿Qué estado físico tiene cada sustancia química?	Sólido en gránulos o polvo
29	¿Qué clasificación de peligrosidad tiene cada sustancia química? (28)	Oxidante fuerte. Corrosivo.
30	¿Qué palabras de advertencia tiene cada sustancia química? (28)	No.
31	¿Qué indicaciones de seguridad tiene cada sustancia química? (28)	No.
32	¿Qué condiciones de prudencia tiene cada sustancia química? (28)	No.

Autoría Propia.

2. Evaluación cualitativa de la exposición Inhalatoria y Dérmica en el puesto de trabajo.

Con respecto al proceso de trabajo en la PTAR Combita en el Formato de Dato de Datos de Exposición se realizó la caracterización de cada parte de dicho proceso, en aras de determinar la exposición a sustancias químicas en los trabajadores expuestos en dicha PTAR.

Figura 15. Proceso de Trabajo PTAR Combita.

FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS EXPOSICION		
PROCESO DE TRABAJO PTAR COMBITA (12)		
1	¿La PTAR Cómbita consta con Pozo profundo?¿Cuántos metros de profundidad? (12)	Si. Dicho pozo profundo consta de 94 metros de profundidad.
2	¿Cuáles son las características de la tubería de acero de carbono? ¿Cuánto nivel estático? (12)	En el interior del pozo profundo existe una tubería de 2" de acero al carbono de 84 metros de la cual se encuentra instalado un equipo de bombeo de 7.5 hp. El pozo tiene un nivel estático a los 70 metros.
3	¿Cuál es su nivel de bombeo? ¿En cuánto está caudal? (12)	El nivel de bombeo de 79.8 metros y el caudal se encuentra entre 2.25 L/s a 2.10 L/s.
4	¿Cuántos tanques de almacenamiento de agua tiene?¿Qué dimensiones tiene? (12)	Existe 1 tanque de almacenamiento de agua, con dimensiones 4.1 x 1.5 x 1.0 m.
5	¿Cuántas válvulas tipo bola hay instaladas a la salida del sistema de filtración? (12)	Dos (2) válvulas de tipo bola de 2" instaladas a la salida del sistema de filtración y en la entrada de tanques de almacenamiento de agua potable.
6	¿Existe una red de distribución principal de agua potable? (12)	Si. La red de distribución principal inicia desde la salida de los tanques de almacenamiento de agua tratada hasta la caja de válvulas.
7	¿Cómo se caracteriza la zona de remoción de hierro y manganeso? (12)	Esta zona tiene 5 bandejas con carbón coque donde por reacciones de oxido-reducción del hierro y el manganeso se disminuye la concentración de los metales en el agua cruda que viene del pozo profundo.
8	¿Cómo es la zona de clarificación en la PTAR Cómbita? (12)	La estructura cuenta con dos válvulas tipo bola de 2" ubicadas en la parte inferior de la camara usada para la evacuación de sólidos.
9	¿Qué características tiene la zona de filtración? (12)	El agua ingresa desde la parte de arriba del primer filtro pasando por el primer lecho filtrante conformado por gravas y arenas que retiran los sólidos que se encuentran el agua.
10	¿Qué características tiene la zona de cloración? (12)	La cloración se realiza sobre la red de descarga del sistema de filtración que conduce el agua a los tanques de almacenamiento de agua potable.
11	¿Cómo está el sistema de dosificación de químicos? (12)	El sistema de dosificación de químicos se realiza posterior al paso del agua por la zona de cloración.

Para visualizacion completa enlace:

https://mega.nz/file/fPoxWChR#EtGVBJK2pxDsFI_HJ0qCDIT6DzagIJIWH6bDAgusmJU

Figura 16. Tanques de almacenamiento de aguas tratadas



Autoría Propia.

Figura 17. Red de distribución de agua potable



Autoría Propia.

Figura 18. Zona de cloración PTAR Combita



Autoría Propia.

Figura 19. Zona de cloración PTAR Combita



Autoría Propia.

Figura 20. Evaluación Puesto de Trabajo según Formato Datos Exposición

EVALUACION DE PUESTO DE TRABAJO		
28	¿Cuántos trabajadores hay en total en la PTAR Cómbita?	2
29	¿Cuántos trabajadores hay por turno en la PTAR?	2
30	¿En qué jornada laboran?	Día.
31	¿Cuántos trabajadores hay por cada proceso?	1 por varios procesos.
32	¿Qué puestos de trabajo están mas expuestos a las sustancias químicas?	La zona de cloración.
33	¿Qué cantidad y concentración tiene cada sustancia química empleada?	No hay una cantidad específica indicada por la empresa en un protocolo.
34	¿Qué alteraciones en salud refieren los trabajadores?	Irritación ocular, de vías respiratorias y dermatológicas.
35	¿Existen alteraciones de tipo dermatológico en estos trabajadores?	Si, en la zona de cloración.
36	¿Existen alteraciones en el sistema respiratorio en estos trabajadores?	Si, en todas las zonas.

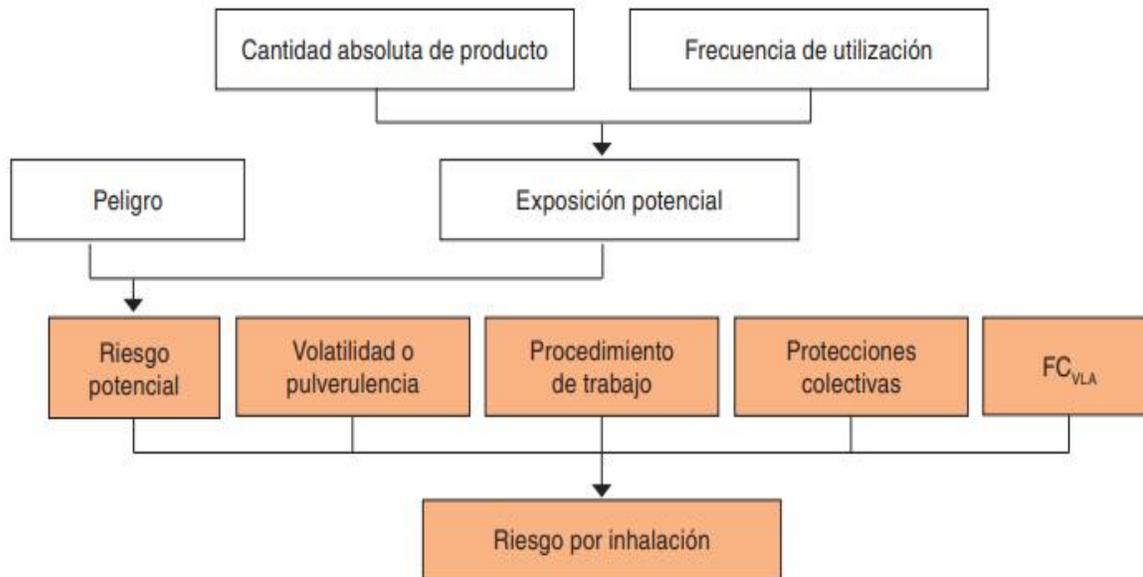
Autoría Propia.

Se resalta dentro del proceso de la PTAR Combita, que en la zona de cloración existe la manipulación de sustancias químicas (Hipoclorito Calcio al 70% y Cal Hidratada), las cuales producen en su mayoría irritación ocular, de las vías respiratorias altas e irritación dermatológica. Es importante resaltar que los empleados no especificaron una cantidad, ni una concentración de dichas sustancias químicas reguladas por el INPEC, de tal manera que la cantidad de uso de las sustancias no está definida, ya que no existe un procedimiento establecido para la manipulación de las

sustancias por los operarios. De esta manera, no es posible determinar las consecuencias en la salud de estos.

2.1. Metodologías de Evaluación

Para la evaluación de la exposición de la exposición a sustancias químicas en los trabajadores de la PTAR Combita, se aplicará la metodología *NTP 937: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS (31)*, que consiste en una metodología simplificada para evaluar el riesgo de exposición a agentes químicos sin recurrir a costosas mediciones ambientales. Se establece una excepción para el empresario donde se le permite el uso de metodologías cualitativas cuando sea capaz de demostrar por otros medios de evaluación que se ha logrado una adecuada prevención y protección. Este tipo de métodos son útiles para realizar un diagnóstico inicial de la situación de riesgo químico, siendo posible finalizar la evaluación cuando el riesgo sea bajo. Este método tiene en cuenta las variables de la siguiente gráfica.

Figura 21. Variables Metodología evaluación cualitativa INRS

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS*. Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Primero se debe determinar la clase de peligro basado en las Frases R y Frases H, en el TLV y en los materiales y procesos donde se use la sustancia química, como lo dispone la siguiente tabla. (31)

Figura 22. Clases de Peligro Metodología evaluación cualitativa INRS

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 Mueles 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, H360Di, 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) (carburante) Vulcanización Maderas duras y derivados (4)

(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.

Se debe determinar la clase de cantidad de sustancia química utilizada en función de las cantidades utilizadas por día. (31)

Figura 23. Clases de Cantidad Metodología evaluación cualitativa INRS

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

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Según la frecuencia de utilización de la sustancia química en la PTAR Combita se determina la Clase de frecuencia de la siguiente manera. (31)

Figura 24. Clases de Cantidad Metodología evaluación cualitativa INRS

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.				

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Se determina la Clase de exposición potencial a partir de las clases de cantidad y de frecuencia, según la disposición de la siguiente tabla. (31)

Figura 25. Clases de Exposición Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS

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

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Posteriormente, se determina la Clase de riesgo potencial basada en el puntaje obtenido de clase de exposición potencial y clase de peligro, de la siguiente manera. (31)

Figura 26. Clases de Riesgo Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS

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

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Al obtenerse el puntaje de clase de riesgo potencial, se procede a darle una puntuación a ese riesgo potencial como lo dispone la siguiente tabla. (31)

Figura 27. Clases de Riesgo Potencial Metodología evaluación cualitativa INRS

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

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

Con la puntuación del riesgo por inhalación se da según la siguiente tabla la prioridad de acción y la subsiguiente caracterización del riesgo para exposición a sustancias químicas de manera cualitativa, y la posterior necesidad de documentar por medio de medidas ambientales el riesgo de dicha PTAR. (31)

Figura 28. Caracterización de Riesgo Por Inhalación Metodología evaluación cualitativa INRS

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)

INSHT. NTP 937: *Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS.* Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>

La metodología de exposición dérmica a sustancias químicas *NTP 897: Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo*, (32) es usada para analizar los métodos para la

determinación de la exposición dérmica laboral a agentes químicos. El INRS francés ha desarrollado una metodología de evaluación simplificada de los riesgos por inhalación, de contacto cutáneo, de incendio-explisión y de impacto ambiental. Este método evalúa el riesgo por contacto con la piel a partir de la superficie del cuerpo expuesta y la frecuencia del contacto para estimar la exposición, y de las informaciones recogidas en la etiqueta y en la ficha de datos de seguridad para estimar la peligrosidad del producto utilizado. (32)

En la siguiente figura se resumen los datos que sirven para atribuir a cada agente químico una categoría de peligro, teniendo en cuenta que la presencia de varias frases de riesgo se asignará la categoría de peligro mas elevada. (32)

Figura 29. Categorización del riesgo por exposición dérmica.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Todas las frases R de los grupos A-C de exposición inhalatoria excepto frases R34, R35, R37 y R43	Todas las frases R del grupo D de exposición inhalatoria y las frases R34, R35	Todas las frases R del grupo E de exposición inhalatoria y la frase R43
Contaminación dérmica que causa riesgo por exposición		
Polvo: 500 mg Líquido: 10 mg	Polvo: 50 mg Líquido: 1 mg	Polvo: cualquier cantidad Líquido: cualquier cantidad

INSHT. NTP 897: Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>

Figura 30. Clases de peligro en función del etiquetado, los TLVs y la naturaleza del AQ.

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 / Muelas / 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	

INSHT. NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>

Posteriormente, la exposición se estima a partir de la superficie del cuerpo expuesta y de la frecuencia del contacto. La estimación del riesgo se realiza multiplicando las puntuaciones de estas tres variables, estableciéndose tres categorías, como se muestra a continuación. (32)

Figura 31. Determinación de las clases de superficies expuestas y puntuaciones.

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

INSHT. NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>

Figura 32. Clases de frecuencia, exposición y puntuación de cada clase.

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

INSHT. NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>

Figura 33. Tabla de caracterización del riesgo por contacto con la piel.

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)

INSHT. NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>

Figura 34. Matriz de aplicación metodología Inhalatoria NTP 937

METODOLOGIA CUALITATIVA EVALUACION EXPOSICION INHALATORIA (26)		
37	¿Qué frases R o Frases H tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (26)	No hay evidencia en la visita de campo.
38	¿Qué límite de exposición ocupacional tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (26)	Hipoclorito de calcio TLV 5 mg/m ³ Cal Hidratada TLV 5 mg/m ³
39	¿Qué clase de peligro tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (26)	Hipoclorito de calcio Corrosivo Cal Hidratada Inflamable
40	¿Qué cantidad de sustancia química es usada por día? (26)	No hay un estándar para cada sustancia química según lo manifestado por los trabajadores de la PTAR.
41	¿Qué clase de cantidad tiene cada sustancia química? (26)	No hay un estándar para cada sustancia química según lo manifestado por los trabajadores de la PTAR.
42	¿Qué frecuencia de utilización tiene cada sustancia química? (26)	No hay un estándar para cada sustancia química según lo manifestado por los trabajadores de la PTAR.
43	¿Qué clase de frecuencia de utilización tiene cada sustancia química? (26)	No hay un estándar para cada sustancia química según lo manifestado por los trabajadores de la PTAR.
44	¿Qué clase de exposición potencial tiene cada sustancia química? (26)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
45	¿Qué clase de riesgo potencial tiene cada sustancia química? (26)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
46	¿Qué puntuación tiene para cada clase de riesgo potencial? (26)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos

Autoría Propia.

Cuando se va a realizar la aplicación de la Figura 21 de la Clase de Peligro para el Hidróxido de Calcio o Cal Hidratada sus Frases de Peligro son R36, R37, R38 como irritante, es decir, que

pertenece a Clase de Peligro 2. El Hipoclorito de Calcio tiene Frases de Peligro H272, H302, H314, H318, H400 tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación por lo cual pertenece a la categoría de clase de peligro 1.

Para la figura 22 no se puede dar una cantidad específica al día porque los trabajadores no lo saben a ciencia cierta ni existe un protocolo al respecto. La figura 23 no es aplicable ya que no existe información de la utilización de las sustancias químicas. La Clase de frecuencia no es calculable, la clase de riesgo potencial ni la caracterización de riesgo por inhalación. Para la exposición a sustancias químicas por vía inhalatoria se evidenció que los trabajadores tenían un profundo desconocimiento al respecto de la exposición por esta vía a los productos manipulados durante el proceso de la PTAR, no existe una cantidad de sustancia química usada por día, una frecuencia de utilización estándar reportada por los trabajadores con claridad en la visita de campo ni un documento que tenga la PTAR Combita como parte del proceso de trabajo que permita realizar el cálculo de la exposición a las dos sustancias químicas.

Figura 35. Matriz de aplicación metodología dérmica NTP 897

METODOLOGIA CUALITATIVA EVALUACION EXPOSICION DERMICA (28)		
47	¿Qué frases R tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (28)	No hay evidencia en la visita de campo.
48	¿Qué pictograma tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (28)	Hidróxido Calcio Irritante Hipoclorito Calcio Corrosivo
49	¿Qué límite de exposición ocupacional tiene cada sustancia química usada en la PTAR? (28)	Hipoclorito de calcio TLV 5 mg/m ³ Cal Hidratada TLV 5 mg/m ³
50	¿Qué naturaleza de agente químico tiene cada sustancia química utilizada en la PTAR? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
51	¿Qué superficies expuestas tiene el trabajador a las sustancias químicas? (28)	En su mayoría la piel de las manos y la cara.
52	¿Qué puntuación de superficie tiene cada trabajador de la PTAR? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
53	¿Qué frecuencia de exposición tiene cada trabajador a cada sustancia química? (28)	No hay un estándar para cada sustancia química según lo manifestado por los trabajadores de la PTAR.
54	¿Qué puntuación de frecuencia de exposición tiene cada sustancia química? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
55	¿Qué puntuación del riesgo hay para cada sustancia química? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
56	¿Qué prioridad de acción tiene cada sustancia química? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos
57	¿Qué caracterización del riesgo existe para cada sustancia química? (28)	No se puede calcular debido a que no se tienen los datos completos

Autoría Propia.

Cuando se va a realizar la aplicación de la Figura 29 del Grupo de Categorización del riesgo por exposición dérmica para el Hidróxido de Calcio o Cal Hidratada sus Frases de Peligro son R36, R37, R38 como irritante, es decir, que pertenece al Grupo 1. El Hipoclorito de Calcio tiene Frases de Peligro H272, H302, H314, H318, H400 tiene frases H, no tiene Frases R, pero pertenece a la clase de peligro 2 de inhalación.

Para la figura 30 no se puede dar una Clase de Peligro por no tener disponible el dato de puntuación de peligro. La figura 31 en las superficies expuestas esta una mano con puntuación de superficie 1. La figura 32 no es aplicable porque no hay datos sobre frecuencia de exposición. La Figura 33 no es aplicable ya que no hay información sobre la puntuación del riesgo. Para la exposición a sustancias químicas por vía dérmica se evidenció que los trabajadores tenían un profundo desconocimiento al respecto de la exposición por vía cutánea a los productos manipulados durante el proceso de la PTAR, no existe una cantidad de sustancia química usada por día, una frecuencia de utilización estándar reportada por los trabajadores con claridad en la visita de campo ni un documento que tenga la PTAR Combita como parte del proceso de trabajo que permita realizar el cálculo de la puntuación de superficie, puntuación de frecuencia y caracterización del riesgo para la exposición a sustancias químicas. Esto considerándose un hallazgo investigativo que será revisado con mas detalle en la discusión y las conclusiones.

3. Controles de la exposición ocupacional a sustancias químicas en la PTAR Combita

El tercer objetivo consiste en determinar los controles que se requieren para contener la exposición a sustancias químicas en la PTAR Combita por los trabajadores en su jornada laboral. Para poder establecer dichos controles se va a aplicar la *Metodología de evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSSH Essentials. NTP 936*. Se trata de un modelo para determinar la medida de control adecuada a la operación que se está evaluando para reducir hasta un nivel aceptable el riesgo por inhalación de agentes químicos, y no propiamente para determinar el nivel de riesgo existente. Este es su punto mas fuerte, puesto que proporciona soluciones de índole práctica en forma de numerosas “fichas de control”. Los niveles de control que se obtienen en este método (y que remiten a las fichas de control según el tipo de operación) corresponden a niveles de riesgo “potencial”, puesto que no intervienen las medidas de control existentes como variable de entrada del método. (33)

3.1 Etapas y Variables

Variable 1. Peligrosidad según frases R o frases H

La peligrosidad de las sustancias, (33) se clasifica en cinco categorías A, B, C, D y E de nivel creciente en función de las frases que figuras en su etiqueta y ficha de datos de seguridad.

Figura 36. Clasificación de la peligrosidad del agente según frases R.

A	R36, R38, R65, R67 Cualquier sustancia sin frases R contenidas en los grupos B a E
B	R20/21/22, R68/20/21/22
C	R23/24/25, R34, R35, R37, R37/38, R39/23/24/25, R41, R43, R48/20/21/22, R68/23/24/25
D	R26/27/28, R39/26/27/28, R40, R48/23/24/25, R48/23/25, R48/24, R60, R61, R62, R63, R64
E	Mut. Cat. 3 R40*, R42, R45, R46, R49, R68*
<p><i>*Antes de 1997 la frase R40 se utilizaba para identificar a los mutágenos de 3ª categoría según el RD363/1995. Posteriormente a 1997, estos pasaron a identificarse con la R68 y la R40 se asignó solamente a los cancerígenos de 3ª categoría. Se mantiene esta entrada en la tabla puesto que podrían existir agentes químicos todavía en uso que fueron adquiridos antes de 1997.</i></p>	

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Figura 37. Clasificación de la peligrosidad del agente según frases H.

A	H303, H304, H305, H313, H315, H316, H318, H319, H320, H333, H336 Cualquier sustancia sin frases H contenidas en los grupos B a E
B	H302, H312, H332, H371
C	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
D	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372
E	H334, H340, H341, H350

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Cuando una sustancia tiene frases (33) que corresponden a distintas categorías, siempre se clasifica la sustancia en la de mayor peligrosidad. Algunas sustancias químicas presentan riesgo a la exposición dérmica adicional a la exposición por inhalación.

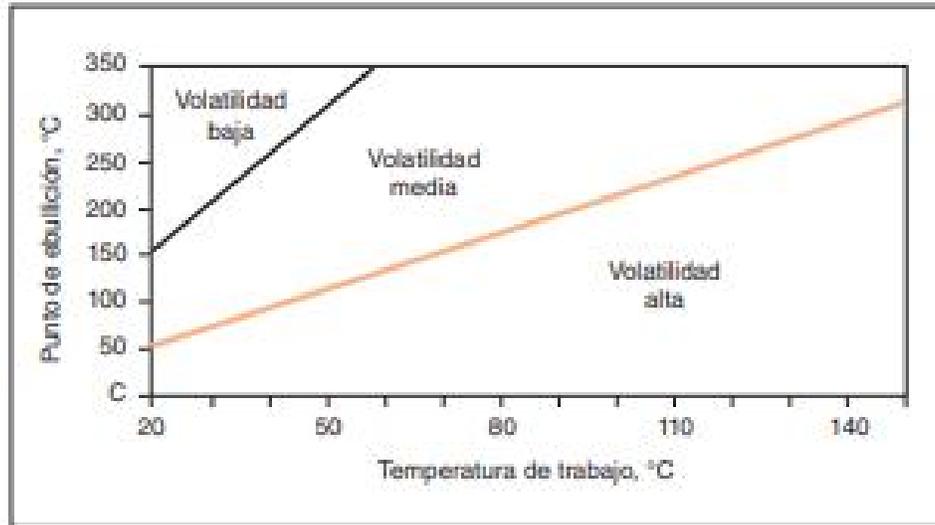
Figura 38. Agentes químicos peligrosos en contacto con la piel o los ojos.

R21	R27	R38	R48/24
R20/21	R27/28	R37/38	R48/23/24
R20/21/22	R26/27/28	R41	R48/23/24/25
R21/22	R26/27	R43	R48/24/25
R24	R34	R42/43	R66
R23/24	R35	R48/21	
R23/24/25	R36	R48/20/21	
R24/25	R36/37	R48/20/21/22	
	R36/38	R48/21/22	
	R36/37/38		
<p><i>* Las cuatro columnas corresponden a peligrosidad creciente, aunque se trata sólo de la identificación del riesgo potencial, sin proseguir con la evaluación del riesgo.</i></p>			

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Variable 2: Tendencia a pasar al ambiente

La tendencia (33) a pasar al ambiente se clasifica en alta, media y baja y se mide, en el caso de líquidos, por su volatilidad y la temperatura de trabajo, y en el de sólidos, por su tendencia a formar polvo cuando se manipulan. COSHH Essentials, en su ámbito de aplicación, excluye explícitamente los agentes en estado gaseoso y los líquidos manipulados por encima de su punto de ebullición.

Figura 39. Niveles de volatilidad de los líquidos

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Las 2 rectas definidas en este gráfico son:

$$T_{\text{ebull}} = 5 \cdot T_{\text{proc}} + 50$$

$$T_{\text{ebull}} = 2 \cdot T_{\text{proc}} + 10$$

donde:

T_{ebull} es la temperatura de ebullición del líquido a la presión atmosférica y

T_{proc} la temperatura a la que se desarrolla la operación evaluada.

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Las disoluciones acuosas de sólidos se tratan como líquidos de baja volatilidad, aunque el punto de ebullición del agua conduce normalmente a la zona de volatilidad media.

Figura 40. Tendencia de los sólidos a formar polvo.

Baja	Media	Alta
Sustancias en forma de granza (<i>pellets</i>) que no tienen tendencia a romperse. No se aprecia polvo durante su manipulación. Ejemplos: granza de PVC, escamas, pepitas, lentejas de sosa, etc.	Sólidos granulares o cristalinos. Se produce polvo durante su manipulación, que se deposita rápidamente, pudiéndose observar sobre las superficies adyacentes. Ejemplo: polvo de detergente, etc.	Polvos finos y de baja densidad. Cuando se emplean se observa que se producen nubes de polvo que permanecen en suspensión durante varios minutos. Ejemplos: cemento, negro de humo, yeso, etc.

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Variable 3: Cantidad de sustancia utilizada por operación.

La cantidad de sustancia empleada se clasifica cualitativamente en pequeña, mediana o grande según lo indicado en la siguiente figura.

Figura 41. Cantidad de sustancia utilizada.

Cantidad de sustancia	Cantidad empleada por operación
Pequeña	Gramos o mililitros
Mediana	Kilogramos o litros
Grande	Toneladas o metros cúbicos

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

3.2. Resultado: Riesgo potencial y nivel de control requerido.

Las categorías elegidas (33) de las tres variables descritas se cruzan mediante la siguiente tabla, que indica cuatro posibles niveles de riesgo potencial y sus respectivas acciones preventivas.

Figura 42. Determinación del nivel de riesgo potencial por exposición a agentes químicos.

Grado de peligrosidad	Volatilidad / Pulverulencia				
	Cantidad usada	Baja volatilidad o pulverulencia	Media volatilidad	Media	Alta volatilidad o pulverulencia
A	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	1	1	2
	Grande			2	2
B	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	2	2	2
	Grande	1	2	3	3
C	Pequeña	1	2	1	2
	Mediana	2	3	3	3
	Grande	2	4	4	4
D	Pequeña	2	3	2	3
	Mediana	3	4	4	4
	Grande	3	4	4	4
E	En todas las situaciones con sustancias de este grado de peligrosidad, se considerará que el nivel de riesgo es 4.				

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

Riesgo Potencial 1:

En estas situaciones (33) el control de la exposición podrá lograrse, normalmente, mediante el empleo de ventilación general.

Riesgo potencial 2:

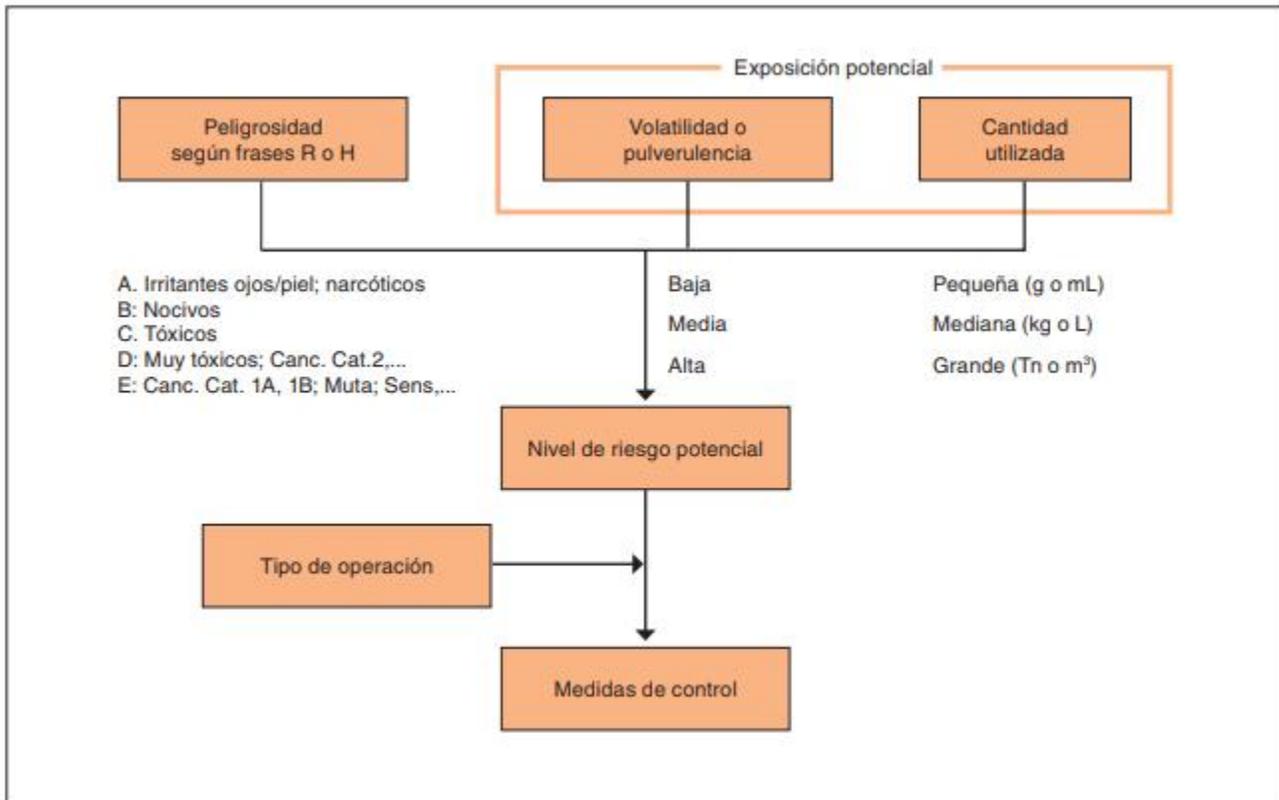
En estas situaciones (33) habrá que recurrir a medidas específicas de prevención para el control del riesgo. El tipo de instalación mas habitual para controlar la exposición a agentes químicos es la extracción localizada, para cuyo diseño y construcción es necesario, en general, recurrir a suministradores especializados. El objetivo de la instalación es conseguir que en los puestos de trabajo la concentración de las sustancias químicas se encuentre por debajo del valor de concentración que se le especifique. (33)

Riesgo Potencial 3:

En estas situaciones (33) habrá que acudir al empleo de confinamiento o de sistemas cerrados mediante los cuales no exista la posibilidad de que la sustancia química pase a la atmósfera durante las operaciones ordinarias. Siempre que sea posible, el proceso deberá mantenerse a una presión inferior a la atmosférica a fin de dificultar el escape de las sustancias. (33)

Riesgo Potencial 4:

Las situaciones de este tipo (33) son aquellas en las que, o bien se utilizan sustancias muy tóxicas o bien se emplean sustancias de toxicidad moderada en grandes cantidades y con una capacidad media o elevada de pasar a la atmósfera. En estos casos las medidas diseñadas deben ser las recurridas al asesoramiento de un experto. (33)

Figura 43. Etapas y variables del modelo COSHH Essentials

INSHT. NTP 936 Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. (2012) [Internet] Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

3.3. Aplicación metodología COSHH Essentials a la PTAR Combita.

Se desea evaluar el riesgo potencial de la operación en la manipulación de sustancias químicas en la PTAR durante el proceso de cloración. Se trata del uso de Hidróxido de Calcio e Hipoclorito de Calcio en cantidad indeterminada, sin una frecuencia determinada, el proceso se realiza a temperatura ambiente, y consiste en el vaciado de sacos de las sustancias químicas en un tanque con agitación mecánica, hasta su completa disolución.

Figura 44. Proceso de Cloración en la PTAR Combita

OPERACION	TAREA	NOMBRE AGENTE	FRASES R o H	PELIGROSIDAD		VOLATILIDAD /PULVURENCIA	CANTIDAD	NIVEL DE RIESGO
				TABLA 1	TABLA 2			
CLORACION	VACIADO SACOS	HIPOCLORITO CALCIO	H302	B	NO APLICA	MEDIA	NO ESPECIFICA	NO SE MIDE
CLORACION	VACIADO SACOS	HIDROXIDO CALCIO	R36	A	B	MEDIA	NO ESPECIFICA	NO SE MIDE

Autoria Propia.

Para el caso del Hipoclorito de Calcio, en el proceso de Cloración en la tarea del vaciado del saco, tiene una frase de peligro H302 con que lo clasifica con una peligrosidad en el grupo B (Nocivo), con respecto a peligrosidad dérmica no clasifica ya que no tiene frase R. Tiene una volatilidad/pulvurencia media, una cantidad no especificada ni constante; por no lo cual el nivel de riesgo no es posible calcularlo.

Para el caso del Hidróxido de Calcio, en el proceso de Cloración en la tarea del vaciado del saco, tiene una frase de peligro R36 con que lo clasifica con una peligrosidad en el grupo A (Irritantes Ojos/Piel), con respecto a peligrosidad dérmica clasifica como B. Tiene una volatilidad/pulvurencia media, una cantidad no especificada ni constante; por no lo cual el nivel de riesgo no es posible calcularlo.

Discusión

Teniendo en cuenta la Resolución 0710 de 2015 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (34) donde se dispuso *“Que el presente procedimiento sancionatorio ambiental se originó como consecuencia de las visitas realizadas al COMPLEJO PENITENCIARIO Y CARCELARIO JAMUNDI, ubicado en el Km 2.7 vía Jamundi – Bocas de Palo, por verter aguas residuales sin contar con el respectivo permiso de vertimientos otorgado por esta Autoridad Ambiental”*. Posterior a la visita realizada por la Corporación a la PTAR se determinó que *“en el establecimiento (Jamundí) no se cuenta con los planos de la PTAR, por tratarse de una cárcel de máxima seguridad, y tampoco se tienen los manuales de operación y mantenimiento. Ello implica que el personal de planta carece de información precisa y específica para poder manejar este sistema de una manera adecuada”*. (34)

Según esta documentación y los resultados de esta investigación se puede contrastar como tanto en la PTAR de Combita como en la de Jamundí, ambas adscritas a los establecimientos del INPEC, existen condiciones fuera de los estándares que contempla la legislación en cuanto al Sistema Globalmente Armonizado en la Resolución 0773 de 2021 (Objetivo específico uno). De igual manera en cuanto a la aplicación de las metodologías inhalatorias y dérmicas no fue posible establecer el grado de riesgo ni la clase de peligro por falta de información de la cantidad ni la frecuencia de uso de las sustancias químicas.

La sanción interpuesta por la Corporación Autónoma del Valle al INPEC genera una alarma para dicha PTAR, pero también para la de Combita, ya que esta última está en riesgo de presentar el mismo daño ambiental que generó la sanción. Con respecto a la aplicación de la Metodología COSHH Essential no fue posible calcular el Riesgo Potencial ni los controles por falta de información y de protocolos claros dispuestos por el INPEC para la PTAR.

Conclusiones

Como conclusión principal de esta investigación se determinó que la PTAR de Combita no tiene en el momento los estándares básicos en cuanto a manipulación ocupacional de sustancias químicas en el proceso de cloración en lo que respecta al Sistema Globalmente Armonizado (SGA) según la Resolución 0773 de 2021. De esta forma, por esta falta de información no fue posible establecer la metodología por vía inhalatoria y vía dérmica, ya que no se tenían datos claros de cantidad de la sustancia química usada y frecuencia de administración dentro del proceso de la PTAR; y de esta forma, no fue posible determinar la Clase de Riesgo de la PTAR. Debido a que no se pudo determinar la Clase de Riesgo en la que esta la PTAR, con la metodología COSHH Essentials no se pudo determinar los controles necesarios para poder contener la exposición ocupacional de dichos trabajadores a las sustancias químicas del proceso de cloración de la PTAR Combita.

Se realiza la recomendación que se realicen mediciones cuantitativas en el ambiente de trabajo para poder así determinar una concentración en el sitio de trabajo de cada sustancia química y de esta forma establecer unos controles de ingeniería, administrativos y elementos de protección personal que se ajusten a disminuir los efectos en la salud de los trabajadores de dicha exposición.

Referencias

1. Belzona. Tratamiento de aguas residuales. [Internet] 2010; 1: p. 1-50. Disponible: https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
2. Zhang W., Wei Chaohai W., Feng Chunhua, F., Yan B., Li N., Peng P., Fu J. Coking wastewater treatment plant as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to the atmosphere and health-risk assessment for workers. Science of the Total Environment. [Internet] 2012 [consultado]; p. 432: 396-403. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712008236>
3. Muzaini K., Yasin S, Ismail Z. Systematic Review of Potential Occupational Respiratory Hazards Exposure Among Sewage Workers. Front Public Health. [Internet] 2021 [consultado]p. 1- 23. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33763402/>
4. Higuera S. Evaluación de un sistema de tratamiento que optimice el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del INPEC – Yopal. Tesis de Grado. Universidad Abierta y a Distancia UNAD. [Internet] 2016 [consultado] Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8448/1117323777.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
5. Díaz E., Alvarado A., Camacho K. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera. [Internet] 2012 [consultado] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
6. IDEAM. Estudio Nacional del Agua. [Internet] 2010 [consultado] Disponible: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019252/ESTUDIONACIONALDELAGUA.pdf>

7. OMS. Preventing Disease Through healthy environments. [Internet] 2010 [consultado]
Disponible: <https://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>
8. Ministerio de Trabajo. Decreto Unico reglamentario del sector trabajo. [Internet] 2015
[consultado] Disponible:
<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+15+d+e+abril++de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8>
9. Carbone L. Sobre el significado de las definiciones de expuesto y exposición. [Internet] 2011
[consultado] Disponible: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2011/sobre-significado-definiciones-expuesto-exposicion>
10. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Riesgo químico: Sistemática para la evaluación Higiénica. [Internet] 2010 [consultado] Disponible:
<https://www.insst.es/documents/94886/96076/Riesgo+qu%C3%ADmico+Sistem%C3%A1tica+para+la+evaluaci%C3%B3n+higi%C3%A9nica.pdf/55fdf7ce-7f1b-43b4-97d2-3b36b4574c9e>
11. INSST. Agentes Químicos. [Internet] 2021 [consultado] Recuperado de:
<https://www.insst.es/materias/riesgos/agentes-quimicos>
12. Consorcio para Boyacá. Manual de operación y mantenimiento Planta de tratamiento de aguas residuales EPMSC Santa Rosa de Viterbo. [Internet] 2020 [consultado] Disponible:
<https://www.inpec.gov.co/institucion/organizacion/establecimientos-penitenciarios/regional-central/epmsc-santa-rosa-de-viterbo>
13. Choudri B., Al-Awadhi T., Charabi Y., Al-Nasari N. Wastewater treatment, reuse, and disposal-associated effects on environment and health. Annual Literature Review. [internet] 2020 [consultado]; 92: 1595–1602. Disponible:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wer.1406>

14. Rui L., Frederiksen M., Uhrbrand K., Li Y., Ostergaard C. Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. [Internet] 2020 [consultado 2021 agosto 25]; 205: 1-10. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651320312021>
15. Jahangiri M., Neghab M., Nasiri G., Aghabeigi M., Khademain V., Rostami R., Kargar V., Rasooli J. Respiratory disorders associated with occupational inhalational exposure to bioaerosols among wastewater treatment workers of petrochemical complexes. [Internet] 2014 [consultado]; 6 (1): p.41-49. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6977060/pdf/ijoem-6-41.pdf>
16. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1207 de 2014. [Internet] 2014 [consultado] Disponible: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf
17. Li W, Yang W LJ. Characterization and prediction of odours from municipal sewage treatment plant. *Water Science and Technology*. [Internet] 2018 [consultado];2017. p. 1 – 8. Disponible: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.233>
18. WHO. Methane. [Internet] 2017 [consultado] Disponible: <https://incchem.org/documents/icsc/icsc/eics0291.htm>
19. Ministerio para la Transición ecológica y el reto democrático. CH4 Metano. [Internet] s.f. [consultado] Disponible: <https://prtr-es.es/CH4-metano,15588,11,2007.html>
20. Cristancho D, Gámez W, Guerra J, Dueñas M. Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá. *Revista ingenierías universidad de Medellín*. [Internet] 2019 [consultado];18 (34); p.

- 25-44. Disponible:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v18n34/1692-3324-rium-18-34-25.pdf>
21. WHO. Sulfuro de Hidrógeno. [Internet] 2017 [consultado] Disponible:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=0165&p_lang=es
22. ATSDR. Resumen de salud pública: Amoniacó. (2004) [Internet] Recuperado de:
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf
23. Ministerio de Trabajo. Resolución 8430 de 1.993. [Internet] 1993 [consultado] Disponible:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
24. International Commission on Occupational Health ICOH. Código Internacional de Ética para los profesionales de la Salud Ocupacional. [Internet] 2002 [consultado] Disponible:
https://higieneysseguridadlaboralcv.s.files.wordpress.com/2012/08/codigo_etico.pdf
25. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. NTP 897 Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. [Internet] 2011 [consultado] Disponible:
<https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>
26. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. NTP 937 Agentes químicos: Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS. [Internet] 2012 [consultado] Disponible:
<https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>
27. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Agentes químicos: Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. [Internet] 2012 [consultado] Disponible:

<https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

28. Naciones Unidas. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). [Internet] 2015 [consultado] Disponible:
https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev07/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev7sp.pdf
29. Quiminsa. Hoja de Seguridad Cal Hidratada. (2018) [Internet] Recuperado de:
<https://files8.design-editor.com/94/9409855/UploadedFiles/9330CADF-3BBC-DCF3-4550-2E8D5D73CF96.pdf>
30. Quiminsa. Hoja de seguridad Hipoclorito de calcio. (2013) [Internet] Recuperado de:
<https://files8.design-editor.com/94/9409855/UploadedFiles/95C586A2-5DE0-ED71-E75B-E545927D7370.pdf>
31. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Agentes Químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS. (2012) [Internet] Recuperado de:
<https://www.insst.es/documents/94886/326879/937w.pdf/9f3ff227-acfa-46b2-8613-355f5d057ad7>
32. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Exposición dérmica a sustancias químicas: evaluación y gestión del riesgo. (2011) [Internet] Recuperado de:
<https://www.insst.es/documents/94886/328579/897w.pdf/f08ca83e-c4f5-4cfe-8083-ff8979b64780>
33. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. NTP 936. (2012) [Internet] Recuperado de:

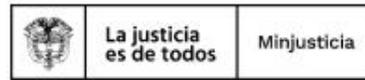
<https://www.insst.es/documents/94886/326879/936w.pdf/c077f591-702c-4df6-a9aa-066563b555d1>

34. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Resolución 0710 de 2012. “Por medio de la cual se resuelve un recurso de reposición”. (2012) [Internet] Recuperado de:

<https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018->

[12/Bolet%C3%ADn%20Actos%20Administrativos%20Diciembre-15-2018.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-12/Bolet%C3%ADn%20Actos%20Administrativos%20Diciembre-15-2018.pdf)

ANEXO 1. AUTORIZACION INVESTIGACION PTAR COMBITA INPEC



85109 –GUSST- SUTAH-

Bogotá D.C., octubre 12 de 2021

Señores
UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Av. Cra. 9 No. 131 A – 02
Bogotá

Cordial saludo.

Asunto: Autorización de Registros Fotográficos y Entrevista al personal Operario de la Plata de Tratamiento de Agua Residual de Combita.

De acuerdo con el cronograma de actividades del postgrado de higiene industrial suministrado a esta subdirección de talento humano – grupo seguridad y salud en el trabajo referente a la necesidad de realizar visitas periódicas a la planta de tratamiento de agua residual del CPAMSEB – Cárcel y Penitenciaria con Alta y Mediana Seguridad de Combita, por parte de la colaboradora, **Angie Sánchez Quevedo, con C.c. 1.030.658.315** de Bogotá y el funcionario, **Alexis Marín Camacho, C.c. 13.512.547** de Bucaramanga quien actualmente presta sus servicios como ejecutivo de riesgos laborales en el Grupo de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Por lo anterior, la Coordinación de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Dirección General del INPEC, autoriza el ingreso de los presentes en calidad de estudiantes de la Universidad el Bosque.

Por otra parte, los interesados en el ingreso al centro de trabajo deberán suministrar cedula de ciudadanía, carnet de funcionario y carnet estudiantil. Como también estarán sujetos a las normas, procedimientos y reglamentos exigidos por el penal.

Atentamente,


MARIA FERNANDA DIAZ VILLABONA
Coordinadora Grupo Seguridad y salud en el trabajo

Proyectado por: Alexis Marín Camacho
Fecha de elaboración: 12/10/2021
Ruta: escritorio/Alexis/oficios

Calle 26 No. 27 – 48 PBX 2347474 Ext. 1104
ghumana@inpec.gov.co

ANEXO 2. FORMATO RECOLECCION DATOS DE EXPOSICION

FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS EXPOSICION		
PROCESO DE TRABAJO PTAR COMBITA (12)		
1	¿La PTAR Cómbita consta con Pozo profundo? ¿Cuántos metros de profundidad? (12)	
2	¿Cuáles son las características de la tubería de acero de carbono? ¿Cuánto nivel estático? (12)	
3	¿Cuál es su nivel de bombeo? ¿En cuánto está caudal? (12)	
4	¿Cuántos tanques de almacenamiento de agua tiene? ¿Qué dimensiones tiene? (12)	
5	¿Cuántas válvulas tipo bola hay instaladas a la salida del sistema de filtración? (12)	
6	¿Existe una red de distribución principal de agua potable? (12)	
7	¿Cómo se caracteriza la zona de remoción de hierro y manganeso? (12)	
8	¿Cómo es la zona de clarificación en la PTAR Cómbita? (12)	
9	¿Qué características tiene la zona de filtración? (12)	
10	¿Qué características tiene la zona de cloración? (12)	
11	¿Cómo está el sistema de dosificación de químicos? (12)	
IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS (28)		
12	¿Qué sustancias químicas son utilizadas en el proceso de tratamiento de aguas residuales? (28)	
13	¿Cada sustancia química tiene el adecuado etiquetado según el Sistema Globalmente Armonizado? (28)	
14	¿Cada sustancia química tiene Ficha de Seguridad según el SGA? (28)	
15	¿La Ficha de Datos de Seguridad tiene una adecuada identificación del producto? (28)	

Para visualización completa enlace:

https://mega.nz/file/fPoxWChR#EtGVBJk2pxDsFI_HJ0qCDIT6DzagJJIWH6bDAgusmJU

ANEXO 3. INVENTARIO SUSTANCIAS QUIMICAS PTAR COMBITA

FICHA DE SEGURIDAD	PROVEEDOR	FABRICANTE	NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE QUÍMICO (1,2) (Composición)	NÚMERO DE CAS (2,3)	Tº PUNTO DE FUSIÓN (°C)	CATEGORÍA (13) IARC	CLASIFICACIÓN PARA EL TRANSPORTE (14)				SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO - SGA					
								ESTADO	NÚMERO UN	CLASE PRIMARIA DE PELIGRO	CLASE SECUNDARIA DE PELIGRO	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO	PICTOGRAMA 1	PICTOGRAMA 2	PICTOGRAMA 3	PALABRA DE ADVERTENCIA	INDICACIONES DE PELIGRO
1	Químicos industriales asociados S.A.S	Químicos industriales asociados S.A.S	Cal Hidratada	Hidróxido de calcio	1305-62-0	17-18	N/R	Sólido	2362	8. Sustancia corrosiva	8. Sustancia corrosiva	Muy corrosivo				Peligro	
2	Químicos industriales asociados S.A.S	Químicos industriales asociados S.A.S	Hipoclorito de calcio 70%	Hipoclorito de calcio 70%	7778-54-3	17-18	No es clasificado por su carcinogenicidad	Sólido	2880	5.1. Sustancia comburente	5.1. Sustancia comburente	Corrosivo	GHS03_Llama_sobre_circulo			Sin información SGA	

Para visualización al 100% enlace:

https://mega.nz/file/CbhWkbaa#6hcd3NVhFRLfXHNjAsjoIssc_CzyNemN5mo7124Ew4