



**Identificación, actualización e integración de información de fuentes de contaminación puntual como base para la toma de decisiones en materia de inspección y vigilancia ambiental en el Área de Intervención Prioritaria del Río Santiago**

## **Sección 6**

**Consideraciones preliminares de los resultados del levantamiento de información en campo y análisis de laboratorio**



## CONTENIDO

6.1	RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO EN 500 UNIDADES ECONÓMICAS.....	6-1
6.2	RESULTADOS DE 150 MUESTREOS REALIZADOS .....	6-2
6.3	CONTAMINANTES MEDIDOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE Y LA SALUD .....	6-4
6.3.1	<i>Conductividad</i> .....	6-4
6.3.2	<i>Potencial de hidrógeno pH</i> .....	6-5
6.3.3	<i>Sólidos Suspendidos Totales</i> .....	6-5
6.3.4	<i>Temperatura</i> .....	6-6
6.3.5	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	6-6
6.3.6	<i>Nutrientes: Nitrógeno y Fósforo</i> .....	6-8
6.3.7	<i>Cianuro</i> .....	6-9
6.3.8	<i>Grasas y Aceites</i> .....	6-10
6.3.9	<i>Cadmio</i> .....	6-11
6.3.10	<i>Cobre</i> .....	6-11
6.3.11	<i>Cromo</i> .....	6-12
6.3.12	<i>Níquel</i> .....	6-13
6.3.13	<i>Plomo</i> .....	6-14
6.3.14	<i>Zinc</i> .....	6-15
6.3.15	<i>Arsénico</i> .....	6-16
6.3.16	<i>Mercurio</i> .....	6-17
6.4	REFERENCIAS .....	6-19

En esta sección se presenta una breve descripción acerca del tratamiento dado a la información recabada tanto en el levantamiento de información en las unidades económicas, como a partir de los muestreos y análisis de laboratorio realizados. Lo anterior, con el objetivo de contextualizar los resultados que se muestran en las secciones 7 y 8. Específicamente para el caso de los datos obtenidos por medio de los muestreos, se hace una descripción de los parámetros muestreados, se presenta información relativa a la incertidumbre de los muestreos realizados durante este trabajo, y, finalmente, se abordan de manera general, los efectos de los contaminantes estudiados tanto en la salud como en el medio ambiente.

## **6.1 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO EN 500 UNIDADES ECONÓMICAS**

Antes de presentar los resultados en la **Sección 7**, se consideró como importante presentar la forma en que se clasificó el destino final de las descargas a partir de la información recabada por el **Anexo I**.

En ese aspecto, se optó por desglosar aún más los destinos finales de descarga observados con el objetivo de diferenciar y contabilizar tres diferentes tipos de escenarios que no fueron contemplados en el diseño original del instrumento de recolección de información. Los escenarios fueron:

1. El destino final de la descarga en la unidad económica era una fosa séptica;
2. Un particular realizaba el saneamiento de las descargas de la unidad económica; y
3. La descarga de la unidad económica es utilizada para riego.

La **Sección 7** presenta los resultados generales del levantamiento de información en campo. Posteriormente se evalúa por municipio las unidades económicas visitadas, abordando principalmente cinco aspectos sobre éstas:

1. Municipio de localización
2. Actividad económica
3. Forma de abastecimiento de agua
4. Destino final de la descarga
5. Tratamiento de agua residual

Adicionalmente, en dicha sección, se discuten los principales hallazgos de dicho levantamiento de información, y se documentan con diferentes fuentes. Al final de la sección, se presenta un análisis sobre el potencial contaminante de las unidades económicas visitadas, tomando en cuenta criterios como el tamaño de la unidad, el origen y destino final de las descargas de las unidades económicas y si cuentan con algún tipo de tratamiento de aguas residuales o no. Este análisis lleva a presentar las zonas con la mayor influencia de unidades económicas consideradas con potencial contaminante y su sector de actividad económica de procedencia.

## 6.2 RESULTADOS DE 150 MUESTREOS REALIZADOS

En la **Sección 8** se presentan los resultados y evaluación de los 150 muestreos realizados en este trabajo. En total se analizaron 150 puntos para determinar el contenido de contaminantes básicos, de los cuales 26 fueron seleccionados para realizar pruebas de presencia de metales pesados y cianuros. Como se señaló en la **Sección 5**, el análisis básico incluyó la medición de:

1. Temperatura
2. Potencial hidrógeno (pH)
3. Sólidos sedimentables
4. Grasas y aceites
5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
6. Demanda química de oxígeno (DQO)
7. Sólidos suspendidos totales
8. Nitrógeno total
9. Fósforo total

Para las descargas analizadas para la presencia de metales y cianuros se incluyó:

1. Cianuro como CN
2. Cadmio
3. Cobre
4. Cromo total
5. Níquel
6. Plomo
7. Zinc
8. Arsénico
9. Mercurio

El procedimiento para el análisis de la concentración de algunos contaminantes, tiene asociado un valor de incertidumbre debido a la exactitud de los instrumentos de medición y la diferencia entre los valores obtenidos de las réplicas realizadas. En la evaluación de los resultados de estos parámetros se tomó el valor medio del rango, sin embargo, debe tomarse en cuenta que el valor real puede encontrarse en cualquier punto dentro del rango de incertidumbre. En la **Tabla 6-1** se muestra el promedio del rango de incertidumbre obtenido de todas las muestras para cada parámetro, no todos los parámetros tienen una incertidumbre asociada, en esos casos, éstos no son mencionados. Las incertidumbres más altas se dan para las concentraciones de fósforo, DBO y DQO.

Tabla 6-1 Incertidumbre en medidas de muestreos\*

Parámetro	Promedio de Incertidumbre en Muestreos (+/- porcentaje del valor original)
Fósforo	10%
Sólidos suspendidos totales	2%
Demanda bioquímica de oxígeno	12%
Demanda química de oxígeno	10%
Nitrógeno total	9%
Grasas y Aceites	1%
Zinc	7%

\*Promedio obtenido de la incertidumbre de los resultados de los análisis realizados por el laboratorio [1].

Para fines de este estudio, se consideró siempre la concentración media del rango, es decir la reportada por el laboratorio sin considerar la incertidumbre, no obstante, hay que tener presente que aquellos muestreos con valores cercanos a los límites máximos permisibles pudieran encontrarse en el umbral de lo permitido.

La **Sección 8** inicia con la presentación general de los resultados de muestreos básicos, así como su distribución por municipio y por actividad económica. Posteriormente se introducen los criterios contra los que se compara la calidad de agua de las descargas. Para la evaluación de las descargas a cuerpo receptor se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 [2] en el apartado de promedio diario, para cuerpos tipo C “Ríos con protección de vida acuática”. La evaluación a descargas a alcantarillado se realizó con la NOM-002-SEMARNAT-1996 [2] en el apartado de muestreo instantáneo. Es importante mencionar que los parámetros no medidos por esta norma se evaluaron contra la NOM-001-SEMARNAT-1996. Algunos de los puntos muestreados cuentan con condiciones particulares de descarga, en los casos en que se obtuvo esta información, estas descargas se evaluaron de acuerdo con dichos criterios.

Los resultados se presentan en dos partes: la evaluación de concentraciones y la evaluación de aportación de contaminantes. En la primera parte, se presentan los resultados de concentración obtenidos, se destacan los muestreos con mayor concentración y se hace una comparación entre los diferentes sectores económicos evaluados. En la segunda parte, se presentan los caudales aforados y se calcula la carga másica de contaminantes que aporta cada punto a su destino final. En este último apartado se ubican por medio de cartografía todos los puntos y se comenta sobre aquellos que aportan la mayor cantidad de contaminantes.

Como parte esencial de esta sección, se ubican las zonas donde existen más descargas de aguas residuales sin tratamiento. A estas zonas se les denominó Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), pues se considera que afectan al equilibrio local o general del río en el AIP.

### **6.3 CONTAMINANTES MEDIDOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE Y LA SALUD**

A continuación, se presenta una descripción general, así como los efectos en el ambiente y en la salud humana, de los parámetros medidos en este proyecto tanto para los muestreos básicos, como de metales. La información aquí presentada pretende ser una referencia breve de cada contaminante evaluado, y su posible efecto, más no ser un tratado extensivo sobre cada uno de ellos. En caso de requerir información adicional, el lector encontrará al final de la presente sección, referencias bibliográficas relacionadas con el tema.

#### **6.3.1 Conductividad**

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia para conducir electricidad, en este caso una solución o una muestra de agua. En el agua la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, y el aumento en su concentración es proporcional al aumento en la conductividad [3]. La conductividad está relacionada con la pureza química del agua y la concentración de sales y sólidos disueltos. El agua destilada, al carecer de iones, no tiene conductividad. En las aguas son buenos conductores los iones de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y fósforo (P), también los cloruros (Cl), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) [4] [5]. Se consideran como malos conductores los aceites, alcoholes, azúcares y los hidrocarburos, por mencionar algunos [4]. En general las soluciones de ácidos y bases son buenas conductoras, pues se ionizan en el agua, pero las de compuestos orgánicos lo son muy poco [6]. En las aguas residuales puede decirse que la conductividad del agua está relacionada con la concentración de Sólidos Disueltos Totales.

La temperatura influye significativamente en la medición de la conductividad, puede aumentar a razón de 1 a 4% por cada grado centígrado [4]. La conductividad del agua residual depende de la fuente de abastecimiento, y solo algunos procesos industriales le afectan. La conductividad promedio del agua en Estados Unidos varía entre los 50 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la de México de 300 a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [6].

Ya que la conductividad es la medida de los iones presentes en solución, pero se requiere de un estudio posterior para identificar y cuantificar los iones presentes, el efecto en el ambiente y la salud no se puede relacionar directamente a este parámetro, sin embargo, existen algunos indicadores que pueden relacionarse a la presencia de ciertos iones en el agua y que pudiera ser el caso de aguas con altas conductividades.

### *Dureza del agua*

Representa la presencia de cationes metálicos presentes en el agua, estos son calcio, magnesio, hierro (Fe), manganeso (Mn), estroncio (Sr) y aluminio (Al) [6]. Cuando la dureza es alta el agua tiende a incrustarse en las superficies y obstruirlas, también aumenta la dificultad de cocción de legumbres e impide la formación de espuma del jabón [6].

### *Alcalinidad*

La alcalinidad en el agua residual es proporcional a la capacidad de resistir cambios de pH por la adición de ácidos [3]. Es causada por la presencia de hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) que acompañan, usualmente, al calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio [3]. El principal efecto de la alcalinidad en el agua es la reacción de estos iones que lleva a la formación de precipitados [6].

### **6.3.2 Potencial de hidrógeno pH**

Mide la cantidad de iones de hidrógeno o hidróxido presentes en la solución que son un indicador de la acidez o basicidad de la solución. La escala de pH va de 0 a 14 y tiene una relación estrecha con las funciones biológicas que pueden llevarse a cabo en el cuerpo de agua. Un residuo se considera corrosivo cuando tiene un pH menor a 2 o mayor a 12.5 [7], aunque se considera que la vida de los peces puede ser posible en pH de 4.5 a 9.5 pero lo mejor es que se encuentre entre 6 y 8 [6]. El efecto de la corrosividad es dañino para cualquier ambiente al que entre en contacto y la hace inadecuada para la vida acuática y el uso humano [7]. El valor de pH es un parámetro de la química del agua y afecta la composición de los iones y la precipitación de las sales, entre otras cosas, además de los procesos naturales.

### **6.3.3 Sólidos Suspendedos Totales**

Los SST indican la presencia de partículas en suspensión que puedan ser retenidas por un filtro normalmente de 0.45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. Estas partículas pueden ser de origen orgánico o inorgánico, proviniendo de las aguas residuales y la erosión del suelo, así como el transporte de sedimentos dentro de las corrientes de lluvia [3]. Los SST no se relacionan directamente a un efecto nocivo para la salud, sin embargo, su presencia propicia condiciones dañinas para los seres vivos, el estado del cuerpo de agua y los aprovechamientos benéficos de la misma.

### *Efectos en el ambiente*

Los sólidos suspendidos representan una superficie sobre la que pueden adsorberse agentes químicos o biológicos [6], esto provoca que tengan un alcance mayor y puedan entrar en contacto con seres vivos, los efectos a la salud pueden ser variados dependiendo de la sustancia adsorbida a los sólidos. Cuando la materia orgánica, finalmente DBO, de los sólidos se descompone produce malos olores y su degradación agota el oxígeno presente en el

cuerpo de agua, ahogando a los peces alrededor [7]. Los sólidos sedimentados pueden formar una capa que cubre los lugares de desove de los peces y evita su reproducción, además de aumentar la turbiedad del agua y reducir su posible uso para fines recreativos [7].

### 6.3.4 Temperatura

La temperatura en las aguas residuales es comúnmente mayor a la de los cuerpos de agua receptores debido a las actividades industriales o la descarga de agua caliente en los hogares. Dependiendo de la temporada del año y la ubicación geográfica, la temperatura de los efluentes puede ser mayor o menor que la de los influentes [3].

#### *Efectos al Ambiente*

La temperatura propicia el aumento de velocidad de las reacciones químicas, por lo que la velocidad a la que llevan a cabo las reacciones bioquímicas aumenta junto con la temperatura. Es decir, es más rápida la acción degradativa de la materia orgánica presente. Sin embargo, en el agua, el oxígeno es menos soluble en altas temperaturas en comparación con las de bajas temperaturas por lo que existe menos oxígeno para llevar a cabo las reacciones degradativas. Una rápida reacción en conjunción con poco sustrato debido a la baja solubilidad, llevan a un agotamiento de oxígeno más rápido [7].

Una descarga de alta temperatura podría generar la estratificación de los peces. El agua caliente permanece en la superficie por diferencia de densidad con el agua fría, lo que provoca que los peces vayan al fondo del lago con el propósito de alejarse de la superficie caliente. Además, el aumento de temperatura aumenta la mortalidad de la vida acuática y el crecimiento de plantas acuáticas y hongos indeseables [3].

### 6.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno consumido tras la degradación biológica de la materia orgánica y representa la cantidad de materia orgánica que puede ser degradada por microorganismos presentes en los cuerpos de agua [3]. La DBO es utilizada universalmente pues es un parámetro simple proporcional a la materia orgánica biodegradable, sea cual sea su origen y composición. Se utiliza comúnmente la prueba DBO<sub>5</sub>, que consiste en incubar la muestra de agua en un laboratorio a 20°C durante 5 días y medir el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos [5].

La DQO es la medida de la materia orgánica que puede ser oxidada mediante el uso de dicromato (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Aunque ambos indicadores representan la materia orgánica, la DQO y la DBO no son iguales, la principal razón es que dentro de la materia a degradar pueden existir sustancias específicas no degradables con los mecanismos biológicos y que solo

pueden ser degradadas por altas temperaturas y efectos ácidos. La ventaja en la medición de la DQO es que puede ser llevada a cabo en 2.5 horas [3].

La relación entre la DQO y la DBO representa la tratabilidad del efluente por medios biológicos. Para aguas domésticas no tratadas, esta razón está entre el rango de 0.3 a 0.8 DBO/DQO. Un índice de 0.5 o mayor representa una tratabilidad fácil, mientras que índices menores a 0.3 es agua con residuos tóxicos, que requiere microorganismos resistentes o que no es biodegradable [3].

La materia orgánica hace referencia a compuestos formados por cadenas de carbono. Hay una amplia variedad de compuestos de este tipo, los efectos a la salud pueden variar según el compuesto del que se trate, desde alcohol hasta hormonas, por lo que no se menciona efecto sobre la salud de los humanos en este apartado. La materia orgánica proveniente de animales y en su mayoría biodegradable propicia condiciones de toxicidad en el ambiente al que llega, que son mencionadas a continuación.

### *Efectos al Ambiente*

La materia orgánica biodegradable es utilizada por los microorganismos como alimento, fuente carbono, y fuente de energía para su mantenimiento. Bajo las condiciones aeróbicas en las que se encuentran usualmente los cuerpos de agua, esta degradación conlleva el consumo de oxígeno y la oxidación de la materia orgánica. En diferentes etapas de oxidación se termina produciendo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y agua [3], los sulfuros presentes se oxidan a sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) [8]. La materia orgánica contenida en aguas residuales tiene asociada una DBO, por lo que su degradación lleva a que el oxígeno disuelto se agote y los peces que vivan en esa zona mueran al no poder respirar [8]. El cuerpo de los peces aporta una nueva carga de materia orgánica que deberá ser eliminada antes de la recuperación del cuerpo.

Cuando el oxígeno disuelto se agota, las bacterias apropiadas realizan una digestión anaeróbica, bajo estas condiciones el agua tiene la apariencia de un color turbio grisáceo. Las bacterias encargadas de la degradación reducen las especies presentes para formar metano ( $\text{CH}_4$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y dióxido de carbono [3], el azufre presente se vuelve ácido sulfhídrico, lo que provoca el característico olor a huevo podrido [8]. El ácido sulfhídrico es tóxico, corroe metales y el concreto, es fácilmente oxidable a ácido sulfúrico y puede causar la muerte en concentraciones suficientemente altas, estas condiciones se pueden dar en los drenajes municipales. [6].

La temperatura ambiental propicia el metabolismo aerobio o anaerobio por el movimiento del agua en un cuerpo dado. En verano ocurre una estratificación del agua, similar a la producida al agregar agua de alta temperatura a un cuerpo. El sol calienta la capa más superficial de agua por lo que permanece en la superficie, esta capa al estar en continuo

contacto con el aire permanece saturada de oxígeno. La capa inferior fría permanece en el fondo y se vuelve propensa a quedarse sin oxígeno derivado de la presencia de materia orgánica. En invierno, las corrientes de aire enfrían la superficie lo que hace que baje y genera el movimiento de las capas de agua inferiores, aumentando la exposición al oxígeno del agua [8].

### 6.3.6 Nutrientes: Nitrógeno y Fósforo

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de los microorganismos, plantas y animales, por eso se refiere a ambos con frecuencia como nutrientes [3].

El nitrógeno es un elemento esencial para los organismos pues es el elemento limitante en la síntesis de proteínas, después del carbono es el elemento más abundante en las células. Se encuentra naturalmente en diferentes estados de oxidación desde el más reducido en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), en forma gaseosa como dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y como nitrito ( $\text{NO}_2$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3$ ). De todas las fuentes, el nitrógeno gaseoso es el menos accesible, solo algunos organismos pueden fijarlo. El amonio/amoniaco se encuentra con mayor frecuencia en el agua ya que es un producto natural y se deriva de varios procesos industriales [6], los nitratos y nitritos se encuentran como sales solubles en el agua [9].

El fósforo forma parte de diversos compuestos de fosfato, entre ellos el ATP que constituye la moneda energética de los organismos [9]. Junto al carbono y el nitrógeno son los elementos limitantes para el crecimiento, la relación media necesaria de estos componentes para las células es de 106:16:1 (C: N: P). El fósforo entra a los cuerpos por el agua residual, las plantas y fertilizantes [6]. Se encuentran en el ambiente como ortofosfatos, disponibles inmediatamente para metabolismo, polifosfatos, dentro de una molécula compleja, y fosfatos orgánicos [3]. El fósforo se acumula en los sedimentos de los cuerpos de agua y con frecuencia se considera el elemento limitante para el crecimiento de plantas en lugar del nitrógeno.

#### *Efectos al Ambiente*

El nitrógeno amoniacal es tóxico para la fauna acuática en concentraciones desde los 10 mg/L [6]. Es utilizado en el metabolismo de los microorganismos aerobios, por lo que su presencia ocasiona el consumo de oxígeno del cuerpo de agua y su ya mencionado impacto sobre este [6]. Los nitratos son un elemento limitante para el crecimiento de las plantas, su presencia en los cuerpos de agua favorece el crecimiento acelerado de plantas, la llamada eutrofización.

La eutrofización es el enriquecimiento de los cuerpos de agua con nutrientes [10], es también el proceso de envejecimiento natural de los cuerpos de agua estancados, pero se acelera con la aportación de aguas residuales y escurrimientos [6]. La eutrofización provoca la proliferación de algas que ocupan la superficie del cuerpo de agua y limitan la transferencia de oxígeno al fondo, lo que provoca desoxigenación y la mortandad de peces

[10]. La degradación de esta materia orgánica tiene los efectos mencionados en el apartado de DBO DQO, que son la acidificación del medio y producción de malos olores.

### *Efectos a la Salud*

La presencia de nitratos por encima de los niveles máximos permisibles en agua para consumo humano está ligada a la enfermedad de los bebés azules en individuos susceptibles [11], en esta enfermedad el nitrito se combina con la hemoglobina de la sangre y dificulta la absorción de oxígeno y su transferencia a las células [8]. En cuanto al fósforo en forma de ortofosfatos, es un poderoso irritante de la piel, de los ojos y de las membranas mucosas. [12] Los cuerpos de agua eutrofizados tienen una calidad de agua deteriorada y representan un riesgo para la salud pública por ser un foco de crecimiento de fauna nociva causante de enfermedades [6].

### **6.3.7 Cianuro**

El cianuro es un grupo funcional formado por un átomo de carbono unido por tres enlaces a un átomo de nitrógeno, se suele representar como  $C \equiv N$  o como  $CN$  y tiene carga negativa [13]. Los cianuros son el nombre con el que se denomina los compuestos que contienen el ion cianuro, pueden ocurrir de forma natural o manufacturados, la primera como parte de azúcares o compuestos naturales en plantas comestibles, como las almendras, soya, espinaca, y son necesarios en micro cantidades en la dieta humana [14].

La mayoría de los cianuros en el suelo o agua provienen de procesos industriales [15], tiene usos en la metalurgia para obtener oro, en la industria del acero y laboratorio químicos. También se usa en algunos baños para el recubrimiento de metales. El 80% del cianuro fabricado se emplea en la producción de nitrilos, nylon y plásticos acrílicos, la fotografía y la producción de goma [16]. También es un residuo de la quema de lana, seda, o vinilo [14].

El cianuro ocurre con más probabilidad en forma de cianuro de hidrógeno (HCN), la forma química más frecuente en una solución dada es dependiente del pH. El cianuro de hidrógeno es un líquido incoloro con punto de ebullición de 25.6 °C, frecuentemente encontrado en estado de gas, no combustible, se disuelve en agua y alcohol [14], tiene un olor leve a almendras amargas, aunque no siempre es detectable. Se le puede encontrar en formas más estables como las sales de cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de potasio (KCN) que son sólidos [16] y en el agua están disueltos. Con frecuencia el término cianuro se refiere a alguno de estos tres. Según el pH la forma química de los cianuros puede ser HCN a pH bajos y iones CN a pH medios y altos, la forma tóxica es la primera.

El efecto del cianuro es similar en todos los organismos vivos, es un inhibidor de varias enzimas relacionadas con la producción de ATP, e interfiere con el mecanismo de respiración de las células. Si la dosis es suficientemente alta, se produce asfixia celular, que provoca fallas en el sistema nervioso central y conlleva al paro respiratorio y la muerte.

### *Efectos al Ambiente*

En el ambiente, el cianuro que se encuentra en el aire se presenta como cianuro de hidrógeno gaseoso, aunque usualmente no en niveles tóxicos [15]. La mayor parte del cianuro que entre en contacto con el agua formará cianuro de hidrógeno y se evaporará. Otra parte será transformada por microorganismos a sustancias menos dañinas o formará un complejo con el hierro [15].

En dosis suficientemente altas de cianuro se afecta el metabolismo de los animales. La manera de contaminación para los animales terrestres ocurre a partir de recipientes con alimentos contaminados, utilizados para el control de plagas. Las aves migratorias son afectadas por el cianuro cuando llegan a cuerpos de agua de los que se alimentan o bañan. Los peces son afectados por los cuerpos de agua contaminados, donde el impacto es directo [16].

### *Efectos a la Salud*

En los humanos el mecanismo de intoxicación es similar. Refiriéndose solo a la exposición de cianuro por cuerpos de agua contaminados, la absorción se puede dar por piel o ingestión. En exposición por piel provoca comezón, irritación de la piel y de las fosas nasales. En la ingestión de cianuro se presentan náuseas y vómitos [14]. Su absorción es rápida, de segundos a minutos después de los que se presenta ansiedad, agitación, enrojecimiento y mareos. En concentraciones suficientemente elevadas, puede presentar estos síntomas y hasta convulsiones, coma y falta de oxigenación en todo el cuerpo [17].

## **6.3.8 Grasas y Aceites**

Dentro de este grupo se encuentran moléculas de gran tamaño no solubles en agua y estables ante la acción degradativa de las bacterias. La diferencia entre las grasas y los aceites consiste en el estado físico en el que se encuentran a temperatura ambiente, las grasas son sólidas y los aceites son líquidos [4]. Estos compuestos provienen de agua desechos de la industria láctea, refinerías de aceite, lubricantes, talleres mecánicos, restaurantes, grasas de animales, entre otros [18].

### *Efectos en el ambiente*

Las grasas y aceites no son miscibles en agua, tienen una densidad de 0.92 a 0.964 g/ml por lo que flotan en el agua [4]. Las grasas que se acumulan en la superficie forman una capa iridiscente. Con suficiente espesor, el aceite de la superficie interfiere con la transferencia de gases entre el agua y el aire, por lo que el oxígeno no puede entrar y los gases producto de la respiración, como el dióxido de carbono, no pueden salir [4]. También se produce una obstrucción de la luz que interfiere con la fotosíntesis de las plantas [18] y puede favorecer a la acidificación del agua [4].

No se tienen efectos a la salud relacionados directamente con las grasas y aceites, pues son un conjunto variado de compuestos, aunque los efectos derivados de su exceso pudieran derivar en compuestos tóxicos, como la acidificación del medio acuático.

### **6.3.9 Cadmio**

El cadmio se encuentra de forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos, algunos ejemplos son: el óxido de cadmio, el cloruro de cadmio o sulfato de cadmio [19]. El cadmio puede cambiar de forma, pero no desaparece del ambiente, el cadmio es muy resistente a la corrosión [20], y por ello se utiliza en aleaciones con aluminio, cobre, níquel, oro, plata, bismuto y zinc, se utiliza en la fabricación de baterías alcalinas, en amalgamas dentales, semiconductores, fotoceldas y en desechos líquidos del electroplatinado o de la industria galvanoplástica [6].

#### *Efectos en el Ambiente*

En el ambiente, el cadmio se encuentra adherido a partículas en el aire, o en los suelos y rocas. Entra al ambiente por la quema de combustibles fósiles, incendios, erosión de rocas y suelo y por fugas de agua en industrias que lo utilizan en sus procesos como la galvanoplástica [19].

El cadmio y sus compuestos son relativamente solubles al agua, comparados con otros metales pesados y también son fáciles de transportar por aire y suelo. El cadmio se acumula en los organismos acuáticos y entra en la cadena alimenticia de este modo [21], fuera de la interrupción en el metabolismo de los peces que acumulen este metal, no hay efectos directos sobre el ambiente de este contaminante.

#### *Efectos a la salud*

La exposición al cadmio puede producir una gran variedad de efectos en humanos, puede entrar al cuerpo por inhalación o por ingestión. Es un cancerígeno humano confirmado, se considera venenoso al inhalarlo, pues daña los pulmones y puede provocar la muerte [19], la exposición crónica en concentraciones más pequeñas provoca síntomas similares al reumatismo, daño sobre los nervios que puede llevar a la atrofia muscular y provoca debilidad en los huesos que causa fracturas frecuentes [6].

La ingesta de agua con niveles altos de cadmio puede irritar el estómago causando vómitos y diarrea, en algunos casos puede llevar a la muerte. La ingesta prolongada de concentraciones bajas de cadmio se acumula en los riñones y puede causar daños en el mismo, también provoca debilidad en los huesos [19].

### **6.3.10 Cobre**

El cobre es un elemento esencial del metabolismo humano y forma parte de la mayoría de los organismos vivos. Se encuentra en su mayoría en forma de compuestos minerales. Es un excelente conductor, se estima que más del 75% del cobre producido se utiliza en la

industria de la electricidad [20]. Debido a que el cobre y sus compuestos están omnipresentes en el ambiente, es común encontrarlo en las aguas superficiales y la forma en la que se presenta depende del pH y contenido de carbonato presente, así como de otros iones en el agua [22]. El cobre puede evitar el crecimiento biológico, funciona también como agente para el curtido de pieles, es parte de pigmentos, catalizadores, funciona como mordente en la galvanoplastia, entre otros [20].

### *Efectos en el ambiente*

El cobre entra al ambiente desde las minas de cobre y fábricas donde se manufacturan o usa cobre metálico. Cuando el cobre y los compuestos de cobre son liberados en agua, éste se disuelve y es transportado como compuestos del mismo o unido a partículas suspendidas y se deposita eventualmente en los sedimentos del suelo [23].

### *Efectos a la salud*

El cobre es un elemento necesario para que el cuerpo humano realice el metabolismo, así como desempeñar un papel importante para el desarrollo de huesos [22]. El cobre le imparte un olor y sabor desagradable al agua, además de impartirle color. Los efectos de la ingestión de concentraciones altas de cobre pueden incluir náuseas, vómitos, calambres estomacales o diarrea, así como daños al hígado y los riñones en casos más raros, coma o la muerte [23]. La inhalación de polvos o humos con sales de cobre puede causar congestión nasal, ulceración en las membranas de la nariz, náuseas y diarrea [20].

## **6.3.11 Cromo**

El cromo se puede encontrar principalmente en tres estados, Cromo elemental, Cromo (III) y Cromo (VI) [24]. El cromo se encuentra distribuido ampliamente sobre la corteza terrestre, su aplicación más importante es el cromado de piezas metálicas de automóviles y equipos eléctricos, para mejorar su resistencia a la corrosión [3] también se utiliza en aleaciones con hierro y níquel para formar acero inoxidable, forma parte de pigmentos inorgánicos y se usa para los procesos de curtido de pieles.

El Cromo (III) se necesita en pequeñas cantidades para mantener buena salud [24], mientras el cromo (VI) es el de mayor aplicación industrial por sus propiedades ácidas y oxidantes y su capacidad para formar sales coloreadas e insolubles [20]. Entra al ambiente por industrias que utilizan cromo en sus procesos, como las mencionadas anteriormente, o al quemar gas natural, petróleo o carbón [24].

### *Efectos en el Ambiente*

El cromo no permanece mucho tiempo en la atmosfera, sino que se deposita en el suelo. En el agua puede cambiar de estado dependiendo de las condiciones del cuerpo receptor, pero generalmente se adhiere a partículas de tierra y se sedimenta hacia el fondo.

Los peces no acumulan mucho cromo en el cuerpo y más bien permanece fuertemente adherido al suelo [24].

### *Efectos a la salud*

El cromo puede entrar al cuerpo por aire, alimentos o agua. Los compuestos de Cromo (III) son menos tóxicos que los del Cromo (VI), no se absorben fácilmente en el tracto gastrointestinal [6] y forman complejos estables en las capas superficiales de la piel. Si no ha habido contacto previo con Cromo (VI) el Cromo (III) no produce ulceraciones ni irritación de la piel [24]. El cromo (III) inhalado puede pasar a la sangre, pero eventualmente es desechado por la orina. La mayor parte del cromo ingerido sale del cuerpo con la evacuación sin entrar el torrente sanguíneo [24].

El Cromo (VI) es absorbido más rápidamente que el Cromo (III), pero al entrar al cuerpo se transforma en Cromo (III) [24]. La exposición a altos niveles de Cromo (VI) causa irritación, y reacciones en la piel o ulceraciones. La ingestión de altas concentraciones está relacionada a falla renal, falla hepática y hemorragia intestinal causada por ulceraciones. Las nubes de compuestos con cromo son tóxicas a diferentes grados pudiendo provocar irritación y crisis asmáticas [20], exposiciones prolongadas están relacionadas con cáncer de pulmón.

### **6.3.12 Níquel**

El níquel es un metal duro, blanco-plateado, dúctil y magnético. El níquel representa entre un 5 y 50% del peso de meteoritos [20] y compone un 6% del núcleo de la tierra [25], se encuentra usualmente en forma natural como mineral combinado con azufre, oxígeno, antimonio, arsénico, o sílice [20].

Es un material de interés para fabricar aleaciones, principalmente con hierro, cobre, cromo y zinc [25]. La mayor parte del níquel se utiliza para fabricar acero inoxidable [25], existen comercialmente más de 3,000 aleaciones y compuestos de níquel, por ejemplo, el compuesto Ni-Cr-Fe utilizado para la fabricación de equipo resistente a la corrosión o el metal monel Ni-Cu utilizado para las monedas [20].

El níquel se encuentra también combinado con cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel, que son solubles en agua y tienen un color verde particular. Estos compuestos no tienen olor ni sabor característico y se utilizan para pintar cerámicas y como catalizadores [25].

### *Efectos en el ambiente*

La mayor parte del níquel y sus compuestos que son liberados al ambiente se adsorben sobre los sedimentos o partículas del suelo que contengan hierro o manganeso y se inmovilizan allí. En suelos ácidos se propicia la movilidad del níquel por su más alta solubilidad y puede filtrarse hasta acuíferos adyacentes [25].

El grado de contaminación por este metal se conoce por la acumulación de este compuesto en ciertos peces, crustáceos y moluscos. Otros estudios han encontrado que la absorción de níquel en verduras y hortalizas es mayor cuando se riegan con aguas residuales y efluentes industriales, señalando la absorción del níquel por la planta, entre los vegetales estudiados se encuentra la lechuga, el ajo, la papa y el pepino [26].

### *Efectos a la salud*

El níquel se encuentra generalmente en niveles muy bajos en el ambiente, por lo tanto, se necesitan métodos sensibles para detectar níquel en la mayoría de las muestras ambientales. Los alimentos son la principal fuente de exposición al níquel, pero también existe la exposición por contacto de la piel con tierra, agua o metales que contienen níquel [25].

El níquel que entra al cuerpo en forma gaseosa es retenido en la nariz, partículas más pequeñas pueden permanecer en los pulmones, pero son desechados eventualmente con la mucosa producida por el cuerpo. El níquel ingerido por agua es desechado por los riñones, por su parte, el níquel ingerido como parte de algún alimento es eliminado con la evacuación [25]. La afectación más común por la exposición al níquel es una reacción alérgica en forma de enrojecimiento y llagas en la piel. Exposiciones prolongadas han sido relacionadas con bronquitis y cáncer de pulmones [25].

### **6.3.13 Plomo**

El plomo es un metal gris azulado que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre [27]. Se usa en la fabricación de tanques, tuberías, soldaduras y equipo resistente a la corrosión, para la fabricación de pinturas, barnices y cerámicas, forma parte de pilas eléctricas y aleaciones y se usa en la refinación del petróleo [6]. El plomo puede ingresar al ambiente a través de las minas de plomo, y de fábricas que usan plomo [27].

### *Efectos al ambiente*

El plomo que está en el aire puede viajar grandes distancias si se trata de moléculas pequeñas, antes de ser devuelto al suelo por la lluvia. Una vez retenido, se adhiere a las partículas del suelo donde puede permanecer por mucho tiempo. Los escurrimientos pueden arrastrar el plomo del suelo y verterlo a los cuerpos de agua, donde tienden a adherirse al fondo junto con el resto de sedimentos. El plomo elemental no puede ser degradado [27]. Los animales que consumen plantas o animales contaminados con plomo en pequeñas cantidades suelen desear la mayor parte en las heces [27]. Provoca mutaciones en los animales gestantes [20] y es tóxico para los peces en concentraciones pequeñas de hasta 0.01 mg/L [6].

### *Efectos a la salud*

Las fuentes comunes de ingestión de plomo son la comida, el aire, el humo de tabaco y el uso de losa de barro vidriado, tradicional de artesanías mexicanas [6]. Mayormente el plomo se acumula crónicamente, los efectos asociados a exposición directa a altas concentraciones son problemas gastrointestinales, como náuseas, vómitos, dolor abdominal, daño hepático y renal, hipertensión, somnolencia, daño cerebral que puede llevar a convulsiones y a la muerte [28].

Los efectos biológicos por la absorción del plomo son los mismos ya sea que la exposición sea por inhalación o ingestión. El daño crónico causa daños neurológicos, hematológicos, renales y sobre la reproducción [20].

Entre los daños neurológicos de importancia, está el daño al sistema nervioso central, que en niños provoca deficiencia mental. Provoca pérdida de la agudeza auditiva, fatiga, cambios de conducta, problemas de concentración y tras un largo periodo de exposición produce pérdida de motricidad por daño en terminales nerviosas [20].

En la sangre, el plomo puede provocar anemia que se produce tras exposiciones prolongadas a altas concentraciones [28]. En los riñones causa falla renal. En la reproducción, el plomo está relacionado con daños en el desarrollo del feto, tienen menor peso al nacer y mayor número de nacimientos prematuros [20].

### **6.3.14 Zinc**

El zinc es un metal brillante de color blanco con tonos azules. Es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, pues constituye aproximadamente un 0.02% de ésta [20]. El zinc se encuentra en todos los alimentos, en el aire, el suelo y el agua [29]. Se usa para la preservación de madera, en el galvanizado, cubierta de zinc sobre hierro, para refinación de aceite, tintes, desinfectante, en compuestos con oxígeno y azufre son usados para elaborar pintura blanca, cerámicas, caucho, entre otros.

### *Efecto al ambiente*

El zinc puede entrar por las actividades de minería, industria que manejan zinc o que refinan otros metales al aire, agua o suelo. El zinc presente en la atmósfera se deposita en el suelo gracias a la lluvia, los escurrimientos pueden terminar como depósitos en el suelo o llegar hasta un cuerpo de agua. Una parte del zinc que entra al agua permanece suspendida, mientras la mayor parte se deposita en el fondo [29].

Los peces pueden acumular el zinc del agua en la que nadan y los alimentos que consumen [29]. El zinc es un metal que se disuelve en pH bajos y altos [6], por lo que la cantidad de zinc presente en el agua aumenta en ambientes ácidos o básicos, en cuerpos con pH estable la mayor parte del zinc permanece adherido al suelo. El zinc es un elemento nutritivo para todos los animales [25].

### *Efecto a la salud*

El consumo de zinc es necesario para el humano en concentraciones entre los 4 y 10 mg/día, dependiendo de edad y sexo. Concentraciones de más de 5 mg/L de zinc le dan un sabor astringente al agua y producen un efecto colorido sobre el agua [6].

Inhalar grandes cantidades de zinc produce una enfermedad similar a la gripe de corta duración, que se quita después de cesar la exposición. La ingestión de 10 a 15 veces de la dosis recomendada de zinc, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos, la ingesta de esta dosis por varios meses puede producir anemia, daño en el páncreas y disminución del colesterol beneficioso en la sangre [29]. El contacto de algunos compuestos de zinc con la piel está relacionado a ulceraciones y dermatitis [20].

### **6.3.15 Arsénico**

El arsénico es un metaloide sólido de color gris acero. Se encuentra ampliamente distribuido sobre la corteza terrestre, principalmente en los minerales sulfurosos. El arsénico elemental se utiliza en aleaciones para aumentar su dureza y resistencia al calor, se utiliza también para la fabricación de municiones, de vidrio y como componente de electrónicos [20]. Los compuestos de arsénico de más uso se emplean como herbicidas e inhibidores de corrosión, mezclas de arsénico con cobre o cloro, utilizados como insecticidas, el trióxido de arsénico se usa en la purificación de gases y es de las variedades más tóxicas [6] [20].

Los compuestos de arsénico suelen ser de color blanco, y no se evaporan, no tienen olor ni sabor, por lo que es difícil detectar su presencia en la comida, agua o aire [30].

### *Efectos al ambiente*

El arsénico puede presentarse en el aire, agua o suelo, cambia de forma al reaccionar con oxígeno, con otras moléculas o por la acción de bacterias [30]. El arsénico que es arrastrado al agua se puede adherir a las partículas sólidas y sedimentarse, otra parte del arsénico permanecerá en suspensión y será arrastrada por el agua, aunque es mayor la parte sedimentada. Algunos peces y mariscos acumulan el arsénico [30], que es beneficioso para estos en pequeñas cantidades [20].

### *Efectos a la salud*

La exposición puede darse por inhalación, ingestión o contacto con la piel, siendo el último el de menos peligrosidad [30]. Casi todo el arsénico introducido al cuerpo es absorbido y puede pasar rápidamente a la corriente sanguínea [30], la velocidad varía según la forma del arsénico y a lo que esté ligado [20]. Una porción de este arsénico abandonará el cuerpo por la orina, y otra permanecerá por meses o más [30].

En la exposición directa a altas concentraciones se presenta bronquitis, conjuntivitis, dificultades para respirar, molestias gastrointestinales, vómitos, calambres musculares y problemas en el corazón. Estos síntomas se presentan unos minutos después de la

exposición. Se han encontrado concentraciones de 3 mg/L en la sangre en los casos fatales de intoxicación por este compuesto [20]. La exposición al arsénico en concentraciones debajo de la dosis letal produce irritación en la mucosa nasal, además de conjuntivitis e irritación de la piel, en algunas personas se puede presentar la perforación del tabique de la nariz después de semanas de la exposición [20].

La muerte por ingestión de dosis letales de arsénico en la sangre, como puede ser entre los 70 y 180 mg de trióxido de arsénico, puede ocurrir en un plazo de 24 horas, aunque es más común un periodo de 3 a 7 días [20].

En la exposición a largo plazo por ingestión de alimentos o agua contaminada provoca diarrea, estreñimiento, enrojecimiento de la piel, oscurecimiento y engrosamiento de la piel, puede producirse daño al sistema circulatorio del cuerpo [30] [20], lo que lleva a la poca oxigenación de las extremidades del cuerpo y ocasiona gangrena [20]. En la intoxicación crónica son habituales la anemia y daños al sistema inmunológico, que produce fatiga, ritmo cardíaco anormal y alteraciones de los nervios. La exposición prologada también ha sido relacionada con el cáncer de hígado, vejiga y pulmones [30].

### **6.3.16 Mercurio**

El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente con densidad 13.6 veces más grande que la del agua, no cumple ninguna función fisiológica útil en el hombre [6]. Forma compuestos llamados amalgamas con todos los metales excepto el hierro, níquel, cadmio, aluminio, cobalto y platino. Es utilizado en los sectores médico, industrial y agrícola, como catalizador para la fabricación de cloro y sosa, para la fabricación de pilas, pinturas, aparatos de medición, tubos de rayos X, baterías, pesticidas, anticonceptivos, germicidas, entre otros usos [20].

El mercurio en el ambiente puede presentarse como mercurio metálico, en su forma pura y líquida, como mercurio inorgánico, que se produce cuando el mercurio se combina con oxígeno, cloro o azufre y los orgánicos que vienen de la unión con carbono [31].

#### ***Efectos al ambiente***

El 80% del mercurio proveniente de actividades humanas se libera al aire por la quema de combustibles e incineración de desechos, el 15% se libera al suelo, y el 5% restante proviene de aguas residuales. Aun así, los niveles de mercurio en la atmósfera son muy bajos y no representan un peligro para la salud, aunque se estima que existen niveles de hasta 6 veces más altos que los que existían antes de la era industrial [31]. El mercurio en el aire puede entrar al suelo o agua por efecto de la lluvia, en el agua los microorganismos pueden transformar el mercurio inorgánico a metilmercurio, que se adhiere a las partículas del suelo y puede permanecer allí por mucho tiempo, aunque existe la posibilidad que se movilice hacia el agua subterránea [31].

El metilmercurio entra en los peces pequeños al ingerir sus alimentos, y se preserva en sus tejidos, de ahí la acumulación avanza progresivamente a los peces más grandes, esto causa que los peces más grandes y viejos sean los que acumulen las cantidades de mercurio más altas [31].

### *Efectos a la salud*

Las diferentes formas de mercurio tienen efectos diferentes sobre el sistema nervioso, debido a que se movilizan de manera diferente en el cuerpo. Los vapores de mercurio metálico que entran por la inhalación, se absorben rápidamente en la sangre y llegan rápidamente al cerebro. Ingerir altas cantidades de metilmercurio, presente en el agua por la acción de algunos microorganismos, también provoca que una cantidad de mercurio llegue al cerebro. Las sales de mercurio entran más difícilmente al torrente sanguíneo que las otras dos formas [31].

El mercurio puede afectar diferentes al cerebro, lo que se puede manifestar en cambios de personalidad, temblores, disminución del campo visual, sordera, pérdida de motricidad, pérdida del tacto y mala memoria que puede terminar en demencia [31]. La acumulación provoca daño en los riñones. La intoxicación por mercurio puede causar gingivitis, trastornos en el sistema nervioso que lleva a temblores similares a los del Parkinson y pérdida de funciones motoras [20].

## 6.4 REFERENCIAS

- [1] Grupo Ecotec, S.A. de C.V., *Informe de resultados*, Guadalajara, 2019.
- [2] Comisión Nacional del Agua, «Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 NOM-002-SEMARNAT-1996 NOM-003-SEMARNAT-1996,» 1997. [En línea]. Available:  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>.
- [3] E. Metcalf, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4 ed. ed., New York: McGraw Hill, 2003.
- [4] S. López del Pino y S. Calderón, *UF1666- Depuración de aguas residuales*, Madrid: Vértice books, 2015.
- [5] C. A. Sierra Ramírez, *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*, Ediciones de la U, 2011.
- [6] B. E. Cisneros Jiménez, *La contaminación ambiental en México*, México: Limusa, 2001.
- [7] N. L. Nemerow y D. Avijit, *Industrial and Hazardous Waste Treatment*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [8] C. Baird, *Química Ambiental*, Ontario: Reverté, 2001.
- [9] F. Rodríguez Castillo, M. D. Ruiz Roldán, R. Plá Blasco, R. Huertas, J. María, F. Domínguez Caballero, C. Moreno-Vivián y M. M. Luque-Romero, *Biotecnología ambiental*, Madrid: Tebar, 2005.
- [10] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos.*, Roma: FAO, 1997.
- [11] Akpor, O. & Otohinoyi, D. & Olaolu, T. & Aderiye y J. Jadesola, «POLLUTANTS IN WASTEWATER EFFLUENTS: IMPACTS AND REMEDIATION PROCESSES.,» *international journal of environmental research and earth science*, vol. 3, pp. 50-59, 2014.
- [12] T. Wagner, *Contaminación, Causas y Efectos*, México: Gernika, 1993.
- [13] M. John, «*Química Orgánica*,» Cengage Learning, México D.F., 2012.

**Consideraciones preliminares de los resultados del levantamiento de información en campo y análisis de laboratorio**

---

- [14] A. Ramírez, «Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre,» *An. Fac. med.*, vol. 71, n° 1, pp. 54-61, 2010.
- [15] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Cianuro,» Julio 2006. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs8.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.pdf).
- [16] J. Guerrero, «Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica,» *El ingeniero en minas*, vol. X, n° 15, pp. 22-25, 2015.
- [17] A. Grenvik, S. Ayres, P. Holbrook y W. Shoemaker, Compendio del Tratado de Medicina Crítica y Terapia Intensiva, Philadelphia: Editorial Médica Panamericana, 1996.
- [18] R. Olmos Ramos, El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis, Mexicali: Plaza y Váldes, 2002.
- [19] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Cadmio,» Julio 1999. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf).
- [20] Organización Internacional del Trabajo, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Ginebra: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones, 1998.
- [21] Nordic Council of Ministers, Cadmium Review, «World Health Organization,» January 2003. [En línea]. Available: [https://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/nmr\\_cadmium.pdf](https://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/nmr_cadmium.pdf).
- [22] Q. Syed R., Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, And Operation, CRC Press, 1999.
- [23] Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Cobre,» 2004. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs132.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.pdf).
- [24] Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Cromo,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.davidborowski.com/work/ATSDR%20ToxFAQs%20and%20PHS%202007/Data/Spanish/PHS%20for%20CROMO.pdf>.
- [25] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud

**Consideraciones preliminares de los resultados del levantamiento de información en campo y análisis de laboratorio**

- Pública Níquel,» Agosto 2005. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs15.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.pdf).
- [26] V. O. Arias, L. V. Som, V. Q. Rodríguez, N. M. R. García Romero, A. M. Navarro y V. C. Cabrera, «Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad:una revisión,» *Journal of food*, vol. 13, n° 1, pp. 87-101, 2015.
- [27] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Plomo,» Agosto 2007. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs13.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf).
- [28] Department of Public Health, Environmental and Social Determinantes of Health World Health Organization, «World Health Organization Exposure to lead: A major public concern,» 2019. [En línea]. Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329953/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.7-eng.pdf?ua=1>.
- [29] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Zinc,» Agosto 2005. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs60.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.pdf).
- [30] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Arsénico,» Agosto 2007. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.pdf).
- [31] Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Resumen de Salud Pública Mercurio,» marzo 1999. [En línea]. Available: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs46.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.pdf).
- [32] INEGI, «Sistema de Clasificación de América del Norte (SCIAN). Versión hogares.,» 2007. [En línea]. Available: <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/97/download/3888>.
- [33] O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez y M. Andrade, Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, Cochabamba: Centro Andino para la gestión y uso del agua (Centro AGUA), 2010.
- [34] R. M. Lapeña, Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales, Barcelona: Marcombo, 1990.