



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

**IDENTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE CROMO HEXAVALENTE EN EL
AGUA DE LLUVIA EN TRES PUNTOS DE MUESTREO: MUNICIPIOS DE
TOLUCA, LERMA Y METEPEC.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

PRESENTA

MARÍA MONTSERRAT CUESTA GÁLVEZ

DIRECTORAS

DRA. EN A. ANA MARCELA GÓMEZ HINOJOS

QUÍM. FRAZZI GÓMEZ MARTÍNEZ



Toluca de Lerdo, Estado de México, Junio 2018

ÍNDICE

ABSTRACT	4
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN	9
Planteamiento del Problema	9
Hipótesis	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Justificación	12
Contribución de la Propuesta	14
Metodología	14
Investigaciones previas	18
CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL - REFERENCIAL	23
1.1. El Ciclo Hidrológico	24
1.2. Lluvia	26
1.2.1. Importancia del agua de lluvia y calidad del agua de lluvia	27
1.2.2. Usos del agua de lluvia	28
1.2.3. Captación de agua de lluvia	30
1.3. Contaminación del agua	32
1.3.1. Contaminantes emergentes	33
1.3.2. Metales pesados	34
1.3.3. Cromo	34
1.3.4. Afecciones que genera el Cromo hexavalente en la salud	37
1.4. Metales presentes en el ciclo hidrológico	38
1.4.1. Sistemas de tratamiento de aguas contaminadas con metales	38
1.5. Técnicas instrumentales de detección: Colorimetría y Espectrofotometría de Luz Visible	39
CAPÍTULO 2. MARCO NORMATIVO	41
2.1. Ámbito de competencia internacional	42

2.1.1 Legislación Internacional para agua potable -----	42
2.1.2 Legislación Internacional para agua de riego -----	46
2.2. Ámbitos de competencia Nacional de la República Mexicana -----	48
2.2.1 Legislación Nacional de la República Mexicana para agua potable -----	48
2.2.2 Legislación Nacional para agua de riego-----	50
2.3. Análisis comparativo de legislación internacional y nacional -----	50
CAPÍTULO 3. MARCO CONTEXTUAL-----	53
3.1. República Mexicana -----	54
3.2. Estado de México -----	56
3.3. Municipio Toluca de Lerdo-----	57
3.4. Municipio de Lerma de Villada-----	65
3.5. Municipio de Metepec -----	71
4. RESULTADOS -----	76
4.1. Facultad de Planeación Urbana y Regional -----	78
4.1.2 Resultados de la Facultad de Planeación Urbana y Regional -----	78
4.2. Muestreo en los municipios de Toluca Lerma y Metepec-----	79
4.3. Análisis de resultados de Cromo hexavalente en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec -----	88
4.4. Análisis de la dinámica de los vientos en relación con los resultados obtenidos de Cromo hexavalente en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec -----	90
4.5. Comparación de legislación nacional e internacional en materia de límites permisibles de Cromo hexavalente en agua potable y agua para riego agrícola. -----	92
CONCLUSIONES -----	104
REFERENCIAS-----	128

Abstract

In recent research the rainwater was collected at the Faculty of Urban and Regional Planning finding Cr + 6 (Luna Espinosa, Romero Aguilar, & Ordoñez López, 2015). It was proposed to carry out this research taking into account only this institution. Water samples were collected at different times in three faculty locations: the municipal water grid, rainwater that is transported through galvanized steel gutters and rainwater that is not in contact with the infrastructure (open sky).

Because the same concentrations of hexavalent Chromium are found in the water that runs down the gutters and rainwater, it is identified that the last one (rainwater) is the heavy metal carrier.

The municipalities of Lerma and Toluca have industrial zones, we chose to collect 10 samples of rainwater to identify the presence of hexavalent Chromium. On the other hand it is chosen to collect 5 samples of rain water in the municipality of Metepec to identify the trawl of hexavalent chromium through the dynamics of winds.

Concentrations of hexavalent Chromium ranging from 0.01 mg / L to 0.07 mg / L were identified in this investigation, but any legislation wasn't found that contemplated the maximum permissible limits of hexavalent Chromium in drinking water or water for agricultural irrigation.

Resumen

El agua pluvial es purificada mediante el ciclo hidrológico, sin embargo, la contaminación ha interferido con éste proceso, por lo que éste vital líquido ya no es considerado cien por ciento puro (Cambero, 2002).

En investigaciones recientes el agua de lluvia captada en la Facultad de Planeación Urbana y Regional se encontró Cr⁺⁶ (Luna Espinosa, Romero Aguilar, & Ordoñez López, 2015) por lo que se propuso llevar a cabo esta investigación tomando en cuenta solo ésta institución; se recolectaron en diferentes momentos, muestras de agua en tres locaciones de la facultad: la red de agua municipal (cafetería), agua pluvial que se traslada mediante canaletas de acero

galvanizado y agua de lluvia que no está en contacto con la infraestructura (cielo abierto).

El análisis de las muestras que se llevó a cabo en la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales, (UCLA) mediante la colorimetría y espectrofotometría, arrojó una concentración de Cromo hexavalente de 0 mg/L en la red de agua municipal; sin embargo, se encontraron concentraciones de 0.03 mg/L de dicho metal en el agua de lluvia y agua que corre por las canaletas de acero galvanizado.

Esto permitió descartar el muestreo en las canaletas a pesar de estar elaboradas con acero galvanizado; ya que al encontrar las mismas concentraciones de Cromo tanto en el agua de lluvia como en el agua que corre por las canaletas se descartó la contribución del acero galvanizado a la concentración de Cromo, por lo que el agua de lluvia era la portadora del metal, lo cual se demostró a lo largo de los muestreos a cielo abierto generando un nuevo enfoque en la investigación, en dirección a los contaminantes atmosféricos como principal fuente de contaminación de agua pluvial; por esta razón se decidió muestrear en otra parte de la ciudad a cielo abierto.

Con la finalidad de tener un polígono se escogieron las ciudades de Lerma y Metepec, ya que la dirección de los vientos arrastra contaminantes que pueden concentrarse en cantidades mayores en dichas ciudades, con base en lo anterior se obtuvieron concentraciones de Cromo hexavalente que oscilan entre 0.01 mg/L y 0.07 mg/L.

Por otra parte, no se encontró alguna legislación que contemplara los límites máximos permisibles de Cromo hexavalente en agua potable o agua para riego agrícola. Así mismo, existen contradicciones en cuanto a los límites permisibles de Cromo total entre los organismos internacionales u algunos países Centroamericanos y Sudamericanos.

Introducción

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos, sin embargo, la falta de infraestructura y distribución ha provocado una escasez de ésta, lo cual ha generado conflictos y padecimientos en la sociedad (International Renewable Resources Institute, 2008).

El desperdicio y la falta de aprovechamiento óptimo propician que en las zonas de escasos recursos e incluso en las grandes urbes se tenga una carencia de agua como se ve hoy en día; no obstante, resulta necesario agregar otro factor que agrava la situación actual del agua: la contaminación.

La contaminación del agua se lleva a cabo por medio de factores químicos y físicos, los cuales provienen de actividades naturales en un porcentaje reducido (erupciones volcánicas, incendios forestales, etc.) y actividades antropogénicas en un porcentaje casi total (combustión, generación de residuos sólidos, emisiones a la atmósfera por fuentes puntuales o móviles, etc.) (Machado, Anali; García, Neyma; García, César; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

A causa del alarmante escenario que se expone anteriormente, el porcentaje de agua que podría utilizarse para la supervivencia disminuye rápidamente, por lo que es necesario optar por otras fuentes de abastecimiento como lo es el agua pluvial.

El agua de lluvia puede utilizarse en las zonas urbanas mediante los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), ya que al utilizar éstos sistemas en actividades domésticas y de higiene personal, se ahorraría el 80% del agua que se consume al día por persona. (Garcidueñas, 2014).

Para lograr optimizar el recurso agua mediante sistemas de captación de agua de lluvia, es necesario realizar pruebas de calidad con el objetivo de verificar qué sustancias ajenas a su composición original están presentes y qué medidas preventivas deberán adicionarse.

En la investigación “Diagnóstico de la calidad de agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un Sistema de Captación de agua de lluvia y su aceptación en la comunidad de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR) de la UAEMex” se encontraron trazas de Cromo hexavalente de 0.23 mg/L (Luna Espinosa, Romero Aguilar, & Ordoñez López, 2015), por lo que surgió la inquietud de llevar a cabo un diagnóstico que demostrara si la presencia del catión en el agua de lluvia provenía de las canaletas o del agua captada a cielo abierto, ya que ésta sustancia es altamente oxidante y por lo tanto capaz de dañar gravemente al medio natural y la salud humana (Machado, Anali; García,

Neyma; García, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

A partir de una serie de análisis realizados en la FaPUR, se descartaron las canaletas como fuente de contaminación, por lo que la degradación del agua pluvial se debió a la contaminación atmosférica.

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) cuenta con corredores industriales que albergan empresas de diferente índole, mismas que generan contaminación al suelo, aire y agua. Por lo que cuando se emiten sustancias ajenas a la composición del aire, no solo este recurso abiótico resulta degradado, sino también el agua que se encuentra en estado gaseoso en la fase de condensación del ciclo hidrológico (Martínez R. G., 2007).

Aunado a lo anterior, la dirección de los vientos favorece la contaminación en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, lo que genera un peligro para la salud y los pocos recursos naturales que aún se conservan en éstas zonas.

Con la finalidad de contrastar las concentraciones obtenidas de las muestras de agua pluvial con la legislación tanto nacional como internacional, se encontró que las normas presentan diferencias en concentraciones máximas permisibles, unidades de medida y estado de oxidación del catión sujeto a medición, es decir, no se tiene un estándar que presente concentraciones solo de Cromo hexavalente, sino que las legislaciones internacionales e incluso nacional se limitan solo a medir las concentraciones de Cromo total (el Cr total se mide a través de la sumatoria del Cr^{+3} más Cr^{+6}). Solo una reducida cantidad de países incluye el Cromo hexavalente en la lista de concentraciones permisibles (Colombia y Honduras).

El primer capítulo de la presente investigación es una recopilación de investigaciones previas al respecto del tema a abordar en la presente investigación, así como contaminación de agua por ion Cromo en diversas fuentes, tanto fijas como móviles.

Por otra parte, el capítulo dos aborda los elementos clave para desarrollar la investigación, es decir, aquellos conceptos que el lector deberá conocer para tener un panorama amplio y claro sobre el tema.

En el capítulo tres, se describe con mayor detalle el contexto de la investigación: municipios de Toluca, Metepec y Lerma; refiriéndose a las características físicas: ubicación, colindancia, clima, edafología, hidrografía y uso de suelo; de igual forma, se abordan las actividades económicas.

La normatividad nacional e internacional es abordada en el capítulo cuatro, donde se exponen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las normas internacionales de organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y países como: Venezuela, Honduras y Colombia, con respecto a los límites máximos permisibles de Cromo hexavalente.

Posteriormente a la normatividad, en el capítulo cinco se describen los resultados obtenidos a partir del primer enfoque de la investigación, es decir, el muestreo de la red pública, agua de lluvia a cielo abierto y agua que corre por las canaletas de acero galvanizado en la FaPUR.

De igual forma, se describen los resultados obtenidos a partir del muestreo en los municipios de Lerma, Toluca y Metepec; sin embargo, en éste enfoque de la investigación no solo se hicieron estudios sobre el ion Cromo, sino también se tomaron en cuenta otros parámetros como la temperatura, sólidos suspendidos, color, pH, entre otros.

Por otra parte, se aborda la comparación de resultados con las NOM y la legislación internacional, tomando en cuenta los límites permisibles de Cromo en el agua potable y en el agua de riego.

Cabe mencionar que se hallaron concentraciones que sobrepasan los límites permisibles de Cromo hexavalente tanto en la legislación nacional como internacional.

Los resultados se compararon con normas referentes a los límites permisibles de Cromo total en el agua potable y normas referentes a los límites permisibles de éste catión en el agua para riego agrícola, debido a que solo dos países cuentan con límites permisibles de Cromo hexavalente (Honduras y Colombia). No obstante el Cromo total se obtiene a partir de la sumatoria del Cromo trivalente y Cromo hexavalente, por lo que se infirió que para dar cumplimiento a las normas nacionales e internacionales, los resultados de Cromo hexavalente

obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec tendrían que ser menores a los límites permisibles de Cromo total .

Por último, se encuentran los anexos pertenecientes a la legislación nacional e internacional y las referencias utilizadas a lo largo de este trabajo.

Esquema de la Investigación

Planteamiento del Problema

La preocupación sobre la contaminación del agua surge varias décadas atrás, principalmente por las afecciones que genera a la salud humana (Carrera, 2008). Sin embargo, al ser fuertemente impactados los ecosistemas (lo que también supone afecciones a la humanidad), a causa de dicha contaminación, las comunidades científicas, políticas e incluso la población han realizado esfuerzos para corregir los daños y evitar futuras afecciones.

No obstante, los contaminantes que captan la atención de la población, y donde se implementan las acciones correctivas y preventivas son los residuos sólidos y la descarga de aguas domésticas e industriales; sin embargo, investigaciones previas en México arrojan que los contaminantes atmosféricos juegan un papel importante con respecto a la contaminación, entre otros elementos, del agua (Martínez R. G., 2007).

En México el tema sobre contaminación del aire resulta poco explorado a pesar de la mala calidad de éste, el cual se respira diariamente en las grandes urbes; por el contrario, existe una gama extensa de información sobre contaminación del agua e incluso surgen varios métodos para la descontaminación de ésta (Domínguez, 2011).

La degradación del agua de lluvia como consecuencia de los contaminantes del aire, puede ocasionar daños severos al medio natural y a la salud humana, debido a que no se conocen los contaminantes que transitan de la atmosfera al agua de lluvia.

El municipio de Toluca cuenta con diez parques industriales que a su vez circunscriben 245 empresas, principalmente del rubro automotriz; sin embargo también alberga industrias de giro alimentario y químico (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Por otra parte, el municipio de Lerma cuenta con 740 industrias manufactureras distribuidas en siete parques industriales. Dichas industrias presentan diversas ramas de producción como la textil, automotriz, química, metalmecánica y alimentos (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

El contar con una gama tan variada de industrias en los corredores de Toluca y Lerma podría ocasionar emisiones de diversos contaminantes, entre ellos el Cromo hexavalente. Por otra parte, el viento al ser dinámico impide que los contaminantes se estanquen, por lo que Toluca y Lerma no serían los únicos municipios afectados, sino también municipios aledaños como Metepec.

El Cromo hexavalente se cataloga como contaminante emergente (Barceló, 2008) ya que era poco conocido hace una década, sin embargo resulta altamente dañino a la población y al medio natural, por lo que su inserción al aire, agua o suelo puede causar una degradación casi irreversible (Barceló, 2008).

Aunado a lo anterior Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008 y Martínez (2007) argumentan que el tránsito vehicular agrava la contaminación del aire, a causa de las emisiones de óxidos de Nitrógeno, monóxido de Carbono y metales pesados tales como el Cromo hexavalente.

El Cromo hexavalente, siendo un agente oxidante dañino al medio natural y a la salud, supone un problema al encontrarse en el agua de lluvia. Primeramente, el 31% de los campos mexicanos son regados con agua de lluvia (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008); el Cr^{+6} es un elemento bioacumulable, por lo que puede almacenarse en cantidades considerables en los cultivos y posteriormente ser ingerido por la población ocasionando, entre otras afecciones, cáncer, úlceras e incluso la muerte (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

Este agente (Cr^{+6}) causa alteraciones a los elementos abióticos como el suelo y el agua, ya que cambian sus características físicas y químicas (Cambero, 2002), lo que genera un desequilibrio repercutiendo en los seres vivos, teniendo como resultado a largo plazo la modificando la vida tal y como la conocemos.

Por otra parte, se ha optado por utilizar sistemas sustentables como el SCALL para optimizar recursos y generar impactos menores en el medio natural; sin embargo el agua de lluvia al estar contaminada con metales pesados (entre otros contaminantes) no representa una fuente de abastecimiento para la humanidad, a lo que se opta por una mayor explotación a los mantos acuíferos, creyendo que estos están libres de impurezas (el agua de lluvia llega a los acuíferos)

Hipótesis

H1: El agua de lluvia que corre por las canaletas de acero galvanizado de la FaPUR es la portadora de Cr^{+6} , ya que en algunos procesos para fabricar éste material se utilizan aleaciones de Aluminio (Al), Zinc (Zn), Cobalto (Co) y Cromo (Cr).

H2: Debido a que los Municipios de Toluca y Lerma albergan parques industriales, las emisiones de dichas zonas se mezclan en el proceso de condensación, lo cual permite que el agua de lluvia sea contaminada con Cromo hexavalente y precipite en los municipios emisores de la contaminación (Toluca y Lerma) y municipios aledaños como Metepec.

Objetivo General

Recolección de muestras de agua de lluvia para determinar la concentración de Cromo hexavalente en el agua pluvial de la zona centro de los municipios de Toluca, Metepec y Lerma.

Objetivos Específicos

- Colectar muestras procedentes de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR): agua de la red municipal, agua que corre por las canaletas y agua captada a cielo abierto, para identificar si existen trazas de Cromo hexavalente mediante estudios de colorimetría y espectrofotometría en alguna de ellas.
- Colectar quince muestras de agua pluvial del centro de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec (cinco muestras por cada municipio), con la finalidad de identificar las trazas de Cromo hexavalente a través de colorimetría y espectrofotometría.

- Contrastar los resultados obtenidos con las NOM nacionales para verificar si las muestras se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.
- Comparar los estándares legales a nivel nacional e internacional de concentración de Cromo hexavalente en el agua de riego y agua potable.

Justificación

En la investigación “Diagnostico de la calidad de agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un Sistema de Captación de agua de lluvia y su aceptación en la comunidad de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx (Luna Espinosa, Romero Aguilar, & Ordoñez López, 2015), al respecto de una propuesta de implementación de un SCALL, se encontraron trazas de Cromo hexavalente, (Cr^{+6}); lo que resultaba preocupante ya que no se sabía si su presencia provenía de las canaletas de acero galvanizado o del agua de lluvia, esto último representaría un problema al ambiente, ya que el Cr^{+6} , se caracteriza por ser una sustancia altamente oxidante.

Al corroborar que el metal pesado provenía del agua pluvial, se opta por recolectar diez muestras de agua de lluvia en los municipios de Toluca y Lerma (cinco muestras por municipio), debido a que albergan gran cantidad de industrias con diversos giros, mismas que generan emisiones a la atmosfera, por lo que el contaminante que viaja a través del viento, pudiera mezclarse con el agua en estado gaseoso durante el proceso de condensación. Por otra parte, se opta por recolectar cinco muestras procedentes del municipio de Metepec con la finalidad de identificar si el contaminante llega a municipios aledaños o precipita solo en la zona donde es emitido.

Entre las afecciones que provoca el Cromo hexavalente en la salud se encuentran las irritaciones oculares y gástricas, cáncer de pulmón, úlceras, perforación del tabique nasal e incluso la muerte (Albert, 2006).

Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, (2008), argumenta que los impactos generados por este metal pesado en el medio natural son catastróficos. La composición química y física de componentes abióticos como el suelo, aire y agua cambia bruscamente provocando desequilibrio en los ecosistemas; cabe mencionar que dichos componentes abióticos fungen como

agentes de traslado de éste metal (Ortiz, 2015), por lo que fácilmente puede llegar al organismo de los seres vivos.

Por otra parte, se considera al Cromo hexavalente como sustancia bioacumulable, lo que significa que las concentraciones de Cr^{+6} no son asimiladas por el metabolismo animal o vegetal acumulándose en los tejidos y trasladándose de organismo en organismo, lo que representa un riesgo severo en el sector agrícola y pecuario (Machado, Analí; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008), debido a que una de las actividades principales a la que se destina agua de lluvia es el riego agrícola. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2016 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016), existen 29,901 unidades agrícolas dispersas en el país, lo que equivale al 56% de la superficie mexicana. No obstante, el 22.9% utiliza tecnología para riego, por lo que el 33.1 % utiliza, entre otras fuentes de abastecimiento, agua pluvial.

Lo anterior, como señala Machado, Analí; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, (2008), afecta directamente a la alimentación de la población, ya que al acumularse el Cromo hexavalente en vegetales, frutas y alimentos de origen animal, se corre el riesgo de acumular éste metal en el organismo consumidor provocando afecciones a la salud mencionadas en líneas anteriores.

A causa de lo descrito anteriormente, surge la preocupación por la aparición de Cr^{+6} en agua de lluvia, ya que existen regulaciones gubernamentales que norman la presencia de Cromo total, tales como la NOM-127-SSA1-1994, la cual especifica el límite máximo permisible de Cromo total en el agua potable: 0.05 mg/L (Gobierno de la República Mexicana, 2002); y la NOM-CCA/032-ECOL/1993, que especifica el límite máximo permisible de Cromo total en el agua de riego: 0.1 mg/L; sin embargo no están estipulados los límites permisibles para el Cromo hexavalente. Por lo cual resultaba necesario identificar la presencia de este catión en el agua de lluvia captada en la FaPUR y realizar una comparación con la legislación internacional con la finalidad de poder encontrar límites permisibles específicamente para el Cr^{+6} en agua.

Contribución de la Propuesta

El estudio de la presencia de Cromo hexavalente en el agua de lluvia en los puntos estudiados nos permite observar que los procesos de contaminación y la dirección de los vientos arrastran el metal de zonas industriales a zonas urbanas.

Metodología

Alcance de la investigación

Se definió el alcance del estudio de la presente investigación a partir de la clasificación según Danhke, 1989 citado por (Hernandez, 2000).

Con base en lo anterior, se catalogó ésta investigación como exploratoria, ya que el tema resulta poco conocido con respecto a la existencia de Cromo hexavalente en agua de lluvia.

Diseño de la investigación

Es una investigación de tipo cuantitativo ya que con base en las quince muestras recolectadas en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec se identifica la presencia de Cromo hexavalente a través de la colorimetría y espectrofotometría.

Muestra

El muestreo, en primera instancia, se realiza en la FaPUR al pensar que las canaletas de acero galvanizado eran las responsables de la contaminación del agua. De igual forma se optó por muestrear la red municipal (cafetería) y agua de cielo abierto para hacer una comparación de resultados.

Al encontrar concentraciones iguales de Cromo, tanto en el agua que corre por las canaletas, como en el agua de lluvia captada a cielo abierto, se optó por extender la zona de estudio a los municipios de Lerma y Metepec, para comparar los resultados obtenidos y generar un análisis de arrastre de contaminantes, ya que las locaciones mencionadas cuentan con zonas industriales que emiten contaminantes a la atmósfera, por lo que pudiera ocurrir una interacción de éstos con el agua de lluvia en estado gaseoso.

Instrumentos de medición

- Determinar la presencia de Cromo hexavalente en las muestras de agua previamente colectadas, a través de análisis químicos (colorimetría y

espectrometría) dentro de la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales (ULCA).

Análisis

El siguiente esquema (ver imagen 1) muestra la metodología del análisis realizado a partir de la toma de muestras y la comparación con la legislación nacional e internacional, tanto en la FaPUR como en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec.

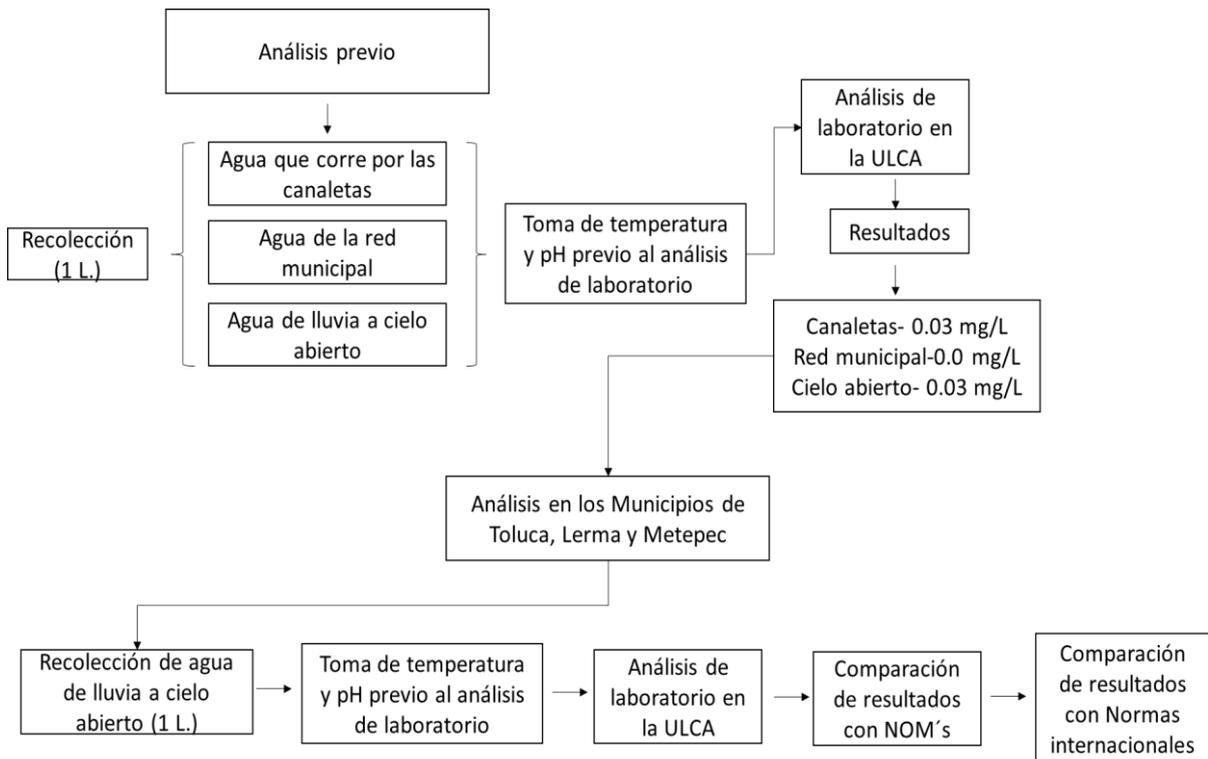


Imagen 1. Esquema de metodología de análisis para la presente investigación
Fuente- Elaboración propia

Así mismo se presenta el análisis de laboratorio en la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales (ver imagen 2).

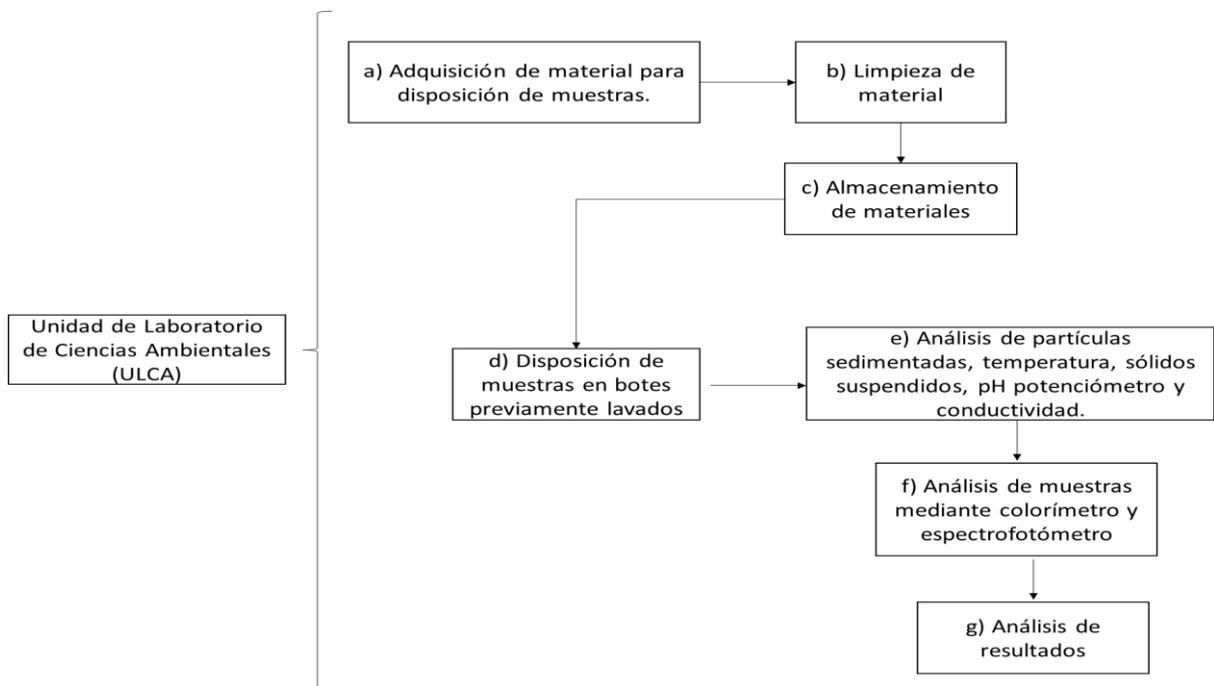


Imagen 2. Esquema del análisis de laboratorio para la presente investigación realizado en el ULCA-FaPUR

Fuente- Elaboración propia

A continuación, se desglosa cada aspecto del análisis antes visto:

Se tomarán cinco muestras de agua pluvial en las zonas céntricas de Metepec y Lerma y en la zona Norte de Toluca, teniendo en total quince muestras a analizar.

a) Adquisición de material para la recolección y disposición de las muestras

Los materiales a utilizar pertenecen a la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales (ULCA), los cuales se utilizarán tanto para la recolección de muestras como para el análisis de las mismas:

Vasos de precipitado del 200 mL: Serán utilizados para medir la cantidad de líquido requerida, en los tres casos serán 100 mL.

Embudos de cola larga: mismos que ayudaran en el vertimiento del líquido en las bolsas previamente esterilizadas, con el fin de evitar pérdidas.

Botes plásticos con capacidad de un litro: se adquirirán en el ULCA ubicado en la Facultad de Planeación Urbana y Regional.

Cubeta con capacidad de veinte litros: fungirá como almacenadora del agua pluvial captada en la explanada.

Mica de un metro por cuarenta centímetros: se colocara dentro de la cubeta con capacidad de veinte litros logrando así una mayor captación de lluvia.

b) Limpieza de materiales

Con ayuda de una esponja y jabón de ionizado se lavarán los materiales antes mencionados teniendo como propósito el eliminar sustancias que modifiquen los resultados de los análisis de las muestras recolectadas; el secado de los materiales se realizara sobre una superficie absorbente, cabe mencionar que no deben ser frotados con ningún tipo de material de lo contrario se contaminaran nuevamente.

c) Almacenamiento de los materiales

Debido a que no se precisa el día de recolección de las muestras, los materiales serán almacenados en el laboratorio de ciencias ambientales teniéndolos a disposición en caso de presentarse precipitación.

d) Toma y disposición de muestras

Una vez que comienza la precipitación abundante, se procederá a colocar los botes plásticos en las zonas indicadas cuidando que no se derrame. La cubeta con capacidad de veinte litros se colocará en puntos estratégicos (lejos del tránsito vehicular, apartada de las copas de los árboles y evitando la obstrucción del paso) para obtener una muestra apta para la investigación, de igual forma se colocara la mica de plástico doblada en forma de cono posicionándola hasta que toque el fondo de la cubeta para recolectar agua pluvial en mayor superficie. Una vez llenos los botes plásticos, se retiran de las zonas estratégicas cuidando no introducir las manos o cualquier objeto que altere el líquido.

Evitando el derrame del líquido, se verterá en los vasos de precipitado para obtener la cantidad indicada (100 mL); una vez medida la muestra se verterá a través del embudo de cola larga en los botes previamente lavados. Se tomara temperatura y pH antes de llevarlas al laboratorio. Los botes serán sellados y etiquetados con la fecha, hora y lugar de la recopilación.

e) Análisis de partículas sedimentadas, temperatura, sólidos suspendidos, pH, potenciómetro y conductividad.

No deberán pasar más de 12 horas para analizar la muestra.

Previo al análisis de Cromo hexavalente, se realiza un análisis de temperatura y pH mediante el potenciómetro, posteriormente se vierte la muestra en el cono Inhooff para determinar partículas sedimentadas

Con la finalidad de obtener sólidos suspendidos, se toma una parte de la muestra para filtrarse en papel del 0.05 y pesarse.

Finalmente se toma lectura de la conductividad mediante el conductímetro.

f) Análisis de muestras mediante colorímetro y espectrofotómetro

El primer equipo a utilizar lleva el nombre de “Espectrofotómetro GENESYS 20”, el cual ejecuta mediciones de absorbancia, porcentaje de transmitancia y concentración dentro del rango de longitud de onda de 325 a 1100 nanómetros. El equipo está compuesto por: pantalla digital de dos líneas, teclado al tacto, porta celda, impresora interna e interfaz RS232.

El proceso consta en determinar concentraciones usando un estándar conocido o un factor de conversión. Se deberá utilizar un “blanco” para tener punto de comparación y posteriormente las muestras.

Por otra parte, el colorímetro de la serie hach DR / 800 es un fotómetro de filtro controlado por microprocesador, de fuente led, adecuado para pruebas colorimétricas. El instrumento está pre calibrado para mediciones colorimétricas comunes e incluye una capacidad de calibración para los métodos hach introducidos por el usuario y futuros.

Incluye resultados de test, longitud de onda automática, almacenamiento y recuperación de datos y reactivo en blanco.

De acuerdo a la sustancia que se desee identificar, serán vertidos los sobres de reactivo según el manual en las muestras recolectadas para contrastar con el “blanco”.

Investigaciones previas

El primer capítulo aborda la temática “metales pesados” dentro de diversos contextos y años, lo cual permitirá reconocer los estudios realizados en la materia, así como las soluciones que se han tomado. De igual forma se muestra

que la temática en el sitio de estudio (Municipios de Toluca, Lerma y Metepec) no ha sido objeto de análisis anteriormente.

A principios de los años 90's los sistemas de captación de agua pluvial ganan importancia al presentarse como una solución efectiva contra falta de agua (debido a la escasez de infraestructura) por ser de bajo costo y fáciles de instalar. Sin embargo, el uso del agua recolectada por esta nueva tecnología no estaba destinado al consumo humano, el sector al que se dirigían los sistemas de captación pluvial era el industrial.

En 1989, Salvador García Fabela expuso en su tesis "Captación y aprovechamiento del agua pluvial en el corredor industrial Toluca-Lerma" un método innovador que podía abastecer la demanda de agua en su totalidad de las industrias del corredor mencionado, no obstante el grado de contaminación del agua pluvial era desconocido y no representaba alguna importancia debido a que el destino del agua recolectada era para enfriamiento de torres principalmente, para lo que no se requiere potabilización del líquido en cuestión.

Al no haber algún vínculo evidente entre la contaminación del recurso agua con los contaminantes presentes en el aire, la calidad de éste no tenía mayor importancia. Fue hasta 1993 que el Gobierno del Estado de México impulsado por el rápido crecimiento de las zonas industriales integra la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, de esta manera se miden los principales contaminantes atmosféricos (Ozono, bióxido de Azufre, bióxido de Nitrógeno, monóxido de Carbono y partículas suspendidas fracción respirable PM10); sin embargo, no se tienen registros de metales pesados.

A más de una década de la creación de la RAMA se publica en 2007 la tesis "Determinación de metales pesados en la precipitación pluvial de una zona urbana (Ciudad De México) y de una zona rural (Rancho Viejo, Edo. De México)" por la doctora Rocío García Martínez. Se cataloga este trabajo como el primero en México que aborda la contaminación pluvial a partir de metales pesados provenientes de emisiones industriales y la combustión.

El objetivo de la tesis fue comparar la composición química del agua de lluvia en una zona urbana y una zona rural con el propósito de estimar el grado de deterioro existente en una zona específica. De igual forma, pretende describir

químicamente la incorporación de contaminantes del aire a la lluvia, ya que se argumenta que la precipitación pluvial es objeto de múltiples investigaciones, contrario a los aerosoles y gases que poseen un campo de investigación reducido y muchas veces ignorado (Martínez R. G., 2007).

Es preciso mencionar que las sustancias a identificar fueron iones inorgánicos y metales pesados (entre ellos el Cromo) mediante cromatografía líquida de alta resolución y espectrofotometría de absorción atómica respectivamente.

La investigación en cuestión aborda dos conceptos fundamentales para determinar las concentraciones de metales pesados: “*rain-out*” determinado como un proceso al inicio de la temporada de lluvias donde el pH es más ácido contribuyendo a la fijación de metales pesados en el agua; por el contrario, en el proceso “*wash-out*” las partículas alcalinas como Ca^{2+} y NH_4^+ contribuyen a neutralizar la acidez de la precipitación pluvial, incrementando la remoción de metales pesados (Martínez R. G., 2007).

Los resultados obtenidos arrojaron que las muestras recolectadas en la zona urbana mostraban un incremento de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb) y Vanadio (V), mientras que en la zona rural la concentración de Níquel (Ni) se vio en aumento.

Se atribuye la contaminación del aire por metales pesados a las actividades antropogénicas tales como: procesos industriales y combustión de combustibles que contienen Al (Aluminio), Cd, Cr, Fe (Hierro), Pb y Zn (Zinc) (Martínez R. G., 2007).

Para 2008 un grupo de científicos genera el artículo “Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008), sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular” donde se especifica que contaminantes como las partículas, el dióxido de Nitrógeno y el monóxido de Carbono son las sustancias de mayor interés al estar en concentraciones elevadas en el aire a causa de las actividades antropogénicas. A pesar de esto el artículo refiere a la creciente preocupación por transporte atmosférico de metales pesados a gran escala debido a su capacidad de asociación a masas de aire y a su tendencia de disposición en áreas alejadas a su fuente de origen (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta,

Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

Si bien el artículo está enfocado a la estrecha relación entre la exposición al material particulado atmosférico proveniente del tráfico vehicular y diversos efectos adversos sobre la salud, la temática de metales pesados como contaminantes emergentes genera polémica ya que una década atrás era un tópico desconocido para la población.

El artículo llega a la conclusión de que los metales pesados como el Níquel (Ni) y Cadmio (Cd) encontrados en las muestras de aire se atribuyen al tráfico vehicular, mientras que el Hierro (Fe), Aluminio (Al), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Cromo (Cr) se atribuyen no solo a la combustión interna de los vehículos, sino a las emisiones industriales (Machado, Analì; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

En 2012, Gildardo Moreno Ugalde publico la tesis “Proyecto de captación y utilización del agua pluvial en el edificio "C" del Centro Universitario UAEM Atlacomulco para el 2012”, el cual especifica la importancia y los beneficios que traen consigo los sistemas de captación pluvial, sin embargo la contaminación del agua de lluvia o aire por metales pesados no se toma en consideración (Ugalde, 2012).

Por otra parte, los investigadores María Laura López, María Lila Azar y Eldo Ávila recolectaron muestras de precipitación pluvial en tres puntos de Córdoba, Argentina (barrio Argüello, en la zona del Patio Olmos y en la Ciudad Universitaria), las cuales se sometieron a pruebas de calidad donde se encontró níquel, cobalto y zinc (metales pesados) pero en concentraciones mucho más bajas de lo establecido en la norma de consumo de agua (Marconetti, 2013).

Finalmente, en el periodo de gobierno municipal 2013-2015, el H. Ayuntamiento de Toluca publicó el Plan de Desarrollo Municipal de Toluca, donde se habla por primera vez de la contaminación atmosférica a causa de las emisiones industriales y sus afecciones a la población.

En el punto 3.1.2 “Medio Físico”, en el apartado “vientos dominantes” se describe la intensidad y el movimiento de éstos, haciendo referencia a que en los meses de Febrero y Marzo los vientos tienen dirección de Suroeste a Noreste, por lo

que las poblaciones como: San Pedro Totoltepec, San Mateo Oztzacatipan, San Cristóbal Huichochitlán, San Andrés Cuexcontitlán, San Pablo Autopan y Tlachaloya se ven afectadas debido a los contaminantes que arrastra el viento procedentes de las zonas industriales (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

No obstante, el tipo de contaminantes que arrastran los vientos procedentes del municipio de Toluca no son mencionados.

Se concluye éste capítulo refiriendo a la poca información que existe con respecto a la interacción entre los contaminantes del aire y el agua pluvial; vínculo que amenaza no solo a los sistemas de captación de agua pluvial como solución sustentable para la falta de acceso de agua potable, sino también a la composición del vital líquido lo que puede desencadenar alteraciones a los ecosistemas y una creciente mortalidad a causa de enfermedades respiratorias.

Capítulo 1. Marco Conceptual - Referencial

El presente capítulo aporta conceptos claves, mismos que serán abordados a lo largo de la investigación, así mismo, se explican procesos básicos (ciclo hidrológico) para lograr una perspectiva más clara con respecto al tema de ésta investigación. Por lo anterior, los conceptos son claros y concretos para que la investigación pueda ser leída por diversos sectores de la población.

1.1. El Ciclo Hidrológico

Todos los ciclos biogeoquímicos están estrechamente ligados sin embargo la presente investigación se limitará a retomar el ciclo del agua, donde la fuente principal de energía es el Sol.

En el planeta Tierra entra y sale energía por efecto de la radiación, sin embargo, lo hace de dos maneras: por onda corta, es decir la que se distingue por el ojo humano y por onda larga, la cual es invisible y emitida por los cuerpos que habitan la Tierra.

Del total de radiación en onda corta que incide sobre la tierra solo un 49% llega al suelo y al mar, sin embargo, el 23% se consume en evaporar agua para dar lugar a las nubes. La evaporación es mayor en el mar con casi 1.2 m/año (Barceló, 2008).

En el proceso de evaporación, al estar las moléculas de agua separadas (por efecto de la radiación), ascienden hacia capas superiores de la atmósfera, las cuales se caracterizan por las temperaturas considerablemente bajas; debido a ello el vapor de agua se condensa evitando que escape de la Tierra (ver imagen 3).

Otras fuentes de vapor de agua que contribuyen a la formación de nubes son: los bosques y selvas principalmente. A éste proceso se le conoce como evapotranspiración.

Las corrientes de aire favorecen la circulación de las nubes llevándolas a zonas altas donde la temperatura desciende hasta que las moléculas de agua son vencidas por la gravedad a causa de su tamaño y peso, lo que trae como resultado la precipitación misma que puede ejemplificarse en lluvia, nieve o granizo.

Posteriormente se genera la escorrentía en terrenos permeables o saturados (ver imagen 3); los escurrimientos erosionan el suelo a través de su recorrido y de esta forma arrastran nutrientes esenciales para la vida marina, concluyen una vez que se funden con el mar (exorreica) o con un cuerpo de agua: lagos (endorreica).

No obstante, la precipitación puede seguir otra ruta por debajo del suelo, a esto se le llama filtración. El recorrido subterráneo que realiza el agua es lento y a partir de él se forman los mantos freáticos (ver imagen 3), siendo algunos de ellos los que soportan las estructuras externas; por lo que al ser explotados puede generarse un colapso del suelo.

Cabe mencionar que algunas rutas subterráneas desembocan en el mar o cuerpos de agua dulce (ver imagen 3).

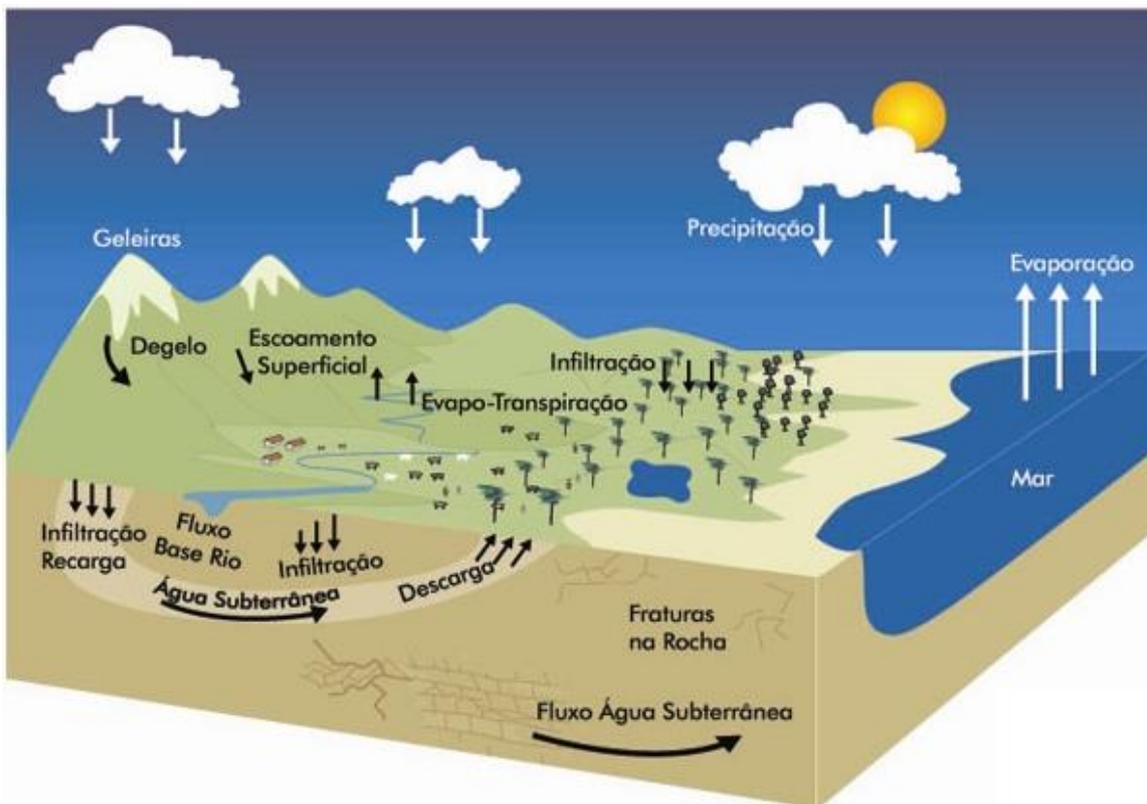


Imagen 3- Ciclo Hidrológico
Fuente-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_ciclo_hidrolgico.pdf

1.2. Lluvia

La lluvia es un fenómeno atmosférico que inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Organización Meteorológica Mundial, 2016), la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor a 0,5 mm o de gotas menores pero muy dispersas. No se considera lluvia a las partículas que no tocan el suelo (este fenómeno recibe el nombre de virga), por otra parte, si las partículas son de menor tamaño se les considera llovizna.

La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, temperatura y humedad atmosférica.

Las lluvias se clasifican de acuerdo a su origen en tres formas:

- a. Lluvias de convección, las cuales se producen al calentarse los estratos bajos de aire que se encuentran en contacto con la superficie terrestre, lo anterior provoca que las moléculas de agua presentes en el aire se dispersen haciéndose más ligeras por lo que ascienden encontrándose con una capa fría que produce una condensación y posteriormente precipitación. Estas lluvias son características de zonas con latitudes cálidas (Gutiérrez, 2014).
- b. Lluvias orográficas, se generan cuando el viento desplaza a las nubes, éstas pueden encontrarse con elevaciones rocosas por lo que ascienden teniendo como resultado una disminución de temperatura, lo anterior provoca mayor condensación y precipitación en la zona del barlovento; una vez que la nube ha liberado el exceso de vapor de agua, atraviesa por encima de la formación rocosa, sin embargo la lluvia es escasa o nula en la zona lateral, es decir el sotavento (Gutiérrez, 2014).
- c. Las lluvias frontales o ciclónicas se consideran las más intensas ya que se producen al encontrarse dos masas de aire de distintas temperaturas (masas polares y masas tropicales) lo cual forma borrascas causantes del tiempo inestable y lluvioso (Gutiérrez, 2014).

Por otra parte, las lluvias pueden ser clasificadas a partir de su intensidad:

Se considera lluvia fuerte a torrencial cuando la intensidad es de 40 a 100 mm/hora; al presentarse de 16 a 40 mm/ hora se le considera una lluvia fuerte; las lluvias moderadas varían de 6.5 a 2.5 mm/hora; por último los rangos de 1 a 0.4 mm/hora se describen como lluvias débiles.

1.2.1. Importancia del agua de lluvia y calidad del agua de lluvia

El agua pluvial representa el principal componente del ciclo hidrológico (Barceló, 2008), por lo que se considera una fuente de abastecimiento de agua dulce para los seres vivos, ya que en dicho ciclo se purifica y oxigena el agua permitiendo el desarrollo de la vida tal y como la conocemos.

Cabe mencionar que las actividades humanas requieren del suministro de agua, en especial aquellas como la agricultura, pesca y crianza de ganado. Estas actividades representan el sustento de la raza humana y es preciso añadir que la lluvia cubre las demandas de agua en dichas actividades casi en su totalidad (Barceló, 2008).

No obstante, actividades que el hombre ya considera necesarias para el desarrollo y la calidad de vida (industrial y comercial), requieren de agua en algún punto de sus procesos respectivamente.

En el ámbito económico el agua pluvial representa un mínimo costo al instalar el SCALL (Sistema de Captación de Agua de Lluvia), en comparación con el agua potable que abastecen las compañías purificadoras.

Recientes investigaciones en Córdoba, Argentina arrojan que el agua de lluvia es utilizable e incluso apta para el consumo humano.

A pesar de que se encontraron trazas de metales pesados como el Níquel, Cobalto y Zinc en el agua de lluvia, las concentraciones no sobrepasaban los límites permisibles. (Marconetti, 2013).

Así mismo se encontró que el agua de lluvia está compuesta por Cloro, Azufre, Potasio, Vanadio, Cromo, Manganeso, Hierro, Cobre, Arsénico, Selenio, Rubidio, Estroncio y Plomo, en muy bajas concentraciones; por lo que cumple con los estándares establecidos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Marconetti, 2013).

En comparación con el agua pluvial, el agua embotellada no es una fuente confiable para la ingesta según el Environmental Working Group, el cual se basa en los estudios que realizó a 10 marcas populares en el mercado Estado Unidense de agua embotellada (Perkins, 2008).

1.2.2. Usos del agua de lluvia

Sector poblacional (zonas urbanas)

El agua de lluvia no tiene uso indispensable dentro de la zona urbana (Serrano, 2014), por el contrario, puede significar dificultades para la población de las grandes urbes, ya que cada temporada de lluvias en México, representa una serie de problemas a causa de la mala gestión que se ha llevado con el manejo del agua pluvial y la infraestructura hidrosanitaria urbana, los efectos de esto son encharcamientos por la obstrucción de alcantarillas a causa de la acumulación de basura, inundaciones, desborde de canales o ríos debido al sistema de drenaje combinado que se tiene en el país, donde las aguas negras se mezclan con el agua pluvial y en épocas de lluvias la cantidad de flujo aumenta entre 5 y 8 veces más (Serrano, 2014), lo que altera el modo de vida de las comunidades sujetas a dichos percances.

Es posible recuperar la costumbre de aprovechamiento de agua pluvial en zonas urbanas. Ciertamente se utiliza agua potable para usos domésticos tales como el inodoro, riego en general y limpieza de la casa, entre otros, mismos que no exigen las características que trae consigo el agua potable, lo cual representa un desperdicio exagerado ya que en conjunto con otras actividades que se llevan a cabo día con día (aseo personal e ingesta de agua), se estima un consumo medio diario de 300 L por persona (Mesanza, 2011).

Se estima que, utilizando agua pluvial para actividades domésticas, se reduce el consumo de agua potable en un 40% (Remtavares, 2011).

El principal uso sustentable del agua pluvial es a través del sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), el cual no es algo nuevo ni requiere de tecnología compleja para ser instalado. Éste es un sistema ancestral que ha sido utilizado en diversas culturas a lo largo del tiempo con el fin de abastecer las necesidades humanas. (Gutiérrez, 2014).

La calidad del agua pluvial varía de un lugar a otro, por lo que se recomienda su uso en actividades domésticas que no impliquen la ingesta del líquido; por otra parte, si se requiere utilizar ésta agua para consumo humano, es recomendable que se pase por un proceso de potabilización como: osmosis inversa o cloración.

Sector industrial

El agua de lluvia al presentar poca dureza, puede ser utilizada en una gama amplia de actividades no solo en cuestiones domésticas, sino también industriales (Remtavares, 2011).

Los equipos tecnológicos de las industrias deben ser enfriados mediante agua, por lo que se opta por utilizar agua pluvial, ya que el agua de la red municipal provoca aparición de incrustaciones en las torres de enfriamiento, lo cual reduce hasta en un 50% la eficiencia del proceso (Remtavares, 2014).

El agua de lluvia también puede ser utilizada para almacenamiento de residuos nucleares, debido a que se utilizan grandes depósitos de agua para enfriar dichos residuos.

Sector agrícola

A diferencia de las zonas urbanas, el agua de lluvia representa un factor esencial para la agricultura en México. El 33.1% de las unidades agrícolas en nuestro país utilizan agua de lluvia para sus cultivos (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

Existen varios métodos de captación como una parcela, microestructuras y cuenca de captación.

Trabajos realizados en Burkina Faso, Kenia, Níger, Sudán y la República Unida de Tanzania han mostrado que la captación de agua de lluvia puede incrementar los rendimientos de los cultivos de dos a tres veces. Además, la captación de agua de lluvia tiene múltiples beneficios: no sólo suministra más agua al cultivo sino también recarga el agua subterránea y ayuda a reducir la erosión del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

Reutilizar el agua pluvial ofrece dos soluciones; primeramente se minimizan los desastres como las inundaciones y colapsos del sistema hidrosanitario; se evita

el incremento de explotación de acuíferos y se genera un ahorro en el consumo de agua potable.

1.2.3. Captación de agua de lluvia

Recientes textos referentes a la captación de agua pluvial como “El imperialismo hidráulico de los Aztecas en la cuenca de México”, postulan que ésta jugaba un papel fundamental para llevar a cabo diversas actividades en la época prehispánica, la más conocida es la agricultura (Gutiérrez, 2014).

Lo anterior se debió a la irregularidad de las lluvias, por lo que la generación de sistemas artificiales de captación de lluvia fue la solución idónea para enfrentar no solo las sequías, sino las posibles inundaciones.

Los sistemas de captación no han sufrido grandes modificaciones desde aquella época, sin embargo la calidad del agua varía debido a diversas fuentes de contaminación.

El agua de lluvia en su origen resulta un recurso de excelente calidad ya que se purifica a través del ciclo hidrológico, sin embargo, durante su escurrimiento puede contaminarse al adherírsele partículas tóxicas presentes en los techos, calles, canaletas, etc.

Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), demuestran que los techos de las viviendas tanto rurales como urbanas contaminan el agua pluvial debido al material que se utiliza en dichas construcciones, el cual puede contener metales pesados. De igual forma, estos estudios arrojaron que el agua pluvial está sujeta a contaminación a causa de materia fecal generada por aves, roedores y otros animales (Serrano, 2014).

Los sistemas de captación de agua son capaces de minimizar la contaminación de agua pluvial ocasionada por la trayectoria que toma través de techos, canaletas o calles y de igual forma brindan soluciones tanto a los procesos de sequías como a las inundaciones.

Un sistema de captación de agua de lluvia intercepta, recolecta, retiene, desvía, acumula y libera agua pluvial con el fin de abastecer las necesidades domésticas o industriales.

Los cuatro factores importantes que se deben contemplar para la instalación de un sistema de captación pluvial son la precipitación pluvial, donde están inmersas variables como la cantidad, frecuencia y distribución, lo anterior permite que el sistema de captación sea realmente funcional, ya que si no se genera la precipitación necesaria no se obtienen los beneficios que ofrece el sistema; por otra parte, otro factor fundamental es el área de captación que debe tomar en cuenta la pendiente y estabilidad del terreno; de igual forma, la capacidad de almacenamiento juega un papel importante, debe estar vinculado con la demanda de agua, ésta última se considera el factor restante para instalar un sistema de captación. Cabe mencionar que solo la precipitación es el factor que no puede ser controlado por acciones antropogénicas.

Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia

Cualquier sistema cuenta con elementos específicos que permiten su correcto funcionamiento y el sistema de captación de agua de lluvia no es la excepción.

Los componentes básicos de todo sistema de captación de agua son: tanque de almacenamiento, filtro de agua, sifón de reboso, sifón de entrada, conexiones, suministro de agua potable, bombas y controles electrónicos.

Si bien ya se abordó la importancia del agua para desarrollar la vida tal y como se conoce y los posibles usos que puede tener el agua pluvial, es fundamental abordar la importancia que radica sobre el vital líquido cuando está inmerso en un proceso de captación pluvial.

Primeramente, el agua de lluvia representa un costo mínimo (la instalación del SCALL representa el costo, por lo que puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Lo anterior resultaría como una solución durante el tiempo de sequías y de igual forma en épocas de lluvia donde se desencadenan inundaciones.

Por otra parte, al coleccionar agua pluvial se evita la explotación de mantos acuíferos y freáticos lo que ocasiona otra serie de problemas (salinización, colapsos, etc.) y de igual forma, se reduce el riesgo de modificaciones en los ecosistemas.

Así mismo, el agua de lluvia inmersa en el proceso de captación no solo abastece las necesidades de la población, sino que permite reducir el índice de

contaminación, ya que el drenaje mezcla los escurrimientos pluviales con las aguas negras.

1.3. Contaminación del agua

Se entiende como contaminación a la alteración perjudicial que se realiza al estado normal o a la pureza de un objeto o sustancia (Barceló, 2008).

Si bien, cualquier recurso natural presenta cierta degradación a causa de la contaminación, el recurso agua se caracteriza por recibir contaminación en la mayoría de las fases del ciclo hidrológico (Martínez R. G., 2007), es decir, a través del aire mediante emisiones (evaporación y condensación) y a través del suelo mediante residuos sólidos y descargas de agentes contaminantes (escorrentía y filtración).

Según Cambero (2002), las sustancias con mayor impacto en el medio acuático son los disolventes, pesticidas, derivados de combustión incompleta de hidrocarburos y metales pesados (Cambero, 2002). Una vez mezcladas con el agua generan anomalías químicas. Dicha contaminación resulta difícil de remover, por lo que la calidad del agua disminuye.

Por otra parte, Cambero (2002), menciona que las alteraciones físicas provienen tanto del sector industrial como del sector habitacional. Los sólidos y líquidos vertidos en los cuerpos de agua modifican las características físicas de la misma (olor, sabor, temperatura, color, etc.). La remoción de estos contaminantes es más fácil en comparación con los contaminantes químicos, sin embargo, el aumento de los residuos sólidos ha generado daños casi irreversibles en los mantos acuíferos, poniendo en peligro la flora y la fauna de los ecosistemas.

Garcidueñas en 2014, afirma que el recurso agua, al presentar algún grado de contaminación genera daños directos e indirectos en el ambiente; siendo los daños directos las reacciones negativas que por ingesta o absorción de agua que presenta materia física o sustancias químicas ajenas a su composición original, (coliformes fecales, metales pesados, sólidos suspendidos, materia orgánica, entre otros). Por otra parte, los daños indirectos se refieren al impacto negativo en el medio natural del agua, ya que al cambiar sus características físicas y/o químicas, a causa de los contaminantes, los recursos naturales disminuyen tanto en cantidad como en calidad mismos que utiliza el hombre para llevar a cabo actividades vitales.

1.3.1 Contaminantes emergentes

A lo largo del imparable crecimiento de la urbanización y del sistema de consumismo que se lleva a cabo en la mayor parte del mundo, resulta inevitable la contaminación de casi todos los recursos naturales con los que cuentan los seres vivos.

El problema de la contaminación del agua se hace notar a principios del siglo XIX, sin embargo, en las últimas décadas se ha acentuado fuertemente provocando alarmantes deterioros no solo en el recurso agua sino en todos los ecosistemas ya que éste líquido es la base para la vida.

Dado lo anterior, la comunidad científica ha distribuido sus esfuerzos con el fin de encontrar medidas tanto preventivas como correctivas con respecto a la contaminación del agua, sin embargo solo han sido estudiados aquellos contaminantes químicos cuya presencia en el medio ha estado regulada a partir de alguna legislación, ejemplo de ellos son los contaminantes tóxicos, apolares, persistentes y bioacumulables (hidrocarburo aromáticos policíclicos, los policlorobifenilos (PCB s) o las dioxinas.

En los últimos años, el desarrollo de nuevos y más precisos métodos de análisis ha permitido alertar a la comunidad científica (principalmente) de la presencia de otros contaminantes inmersos en el ciclo hidrológico catalogados como peligrosos (Barceló, 2008).

Los contaminantes emergentes se definen como desconocidos o no reconocidos, cuya presencia en el medio natural no es nueva pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de estos.

Dichos contaminantes son compuestos de los cuales se sabe relativamente poco o nada acerca de su presencia e impacto en los diversos ecosistemas por lo tanto no han sido regulados.

Debido a su elevada producción y a la continua introducción al medio natural no necesitan ser persistentes para ocasionar daños considerables. Dentro de esta clasificación, encontramos los retardantes de llama bromados, cloroalcanos, plaguicidas polares, compuestos perfluorados, fármacos y metales pesados (Barceló, 2008).

1.3.2. Metales pesados

La definición rigurosa de los metales pesados aún no está establecida, sin embargo, Reyes-Navarrete los define con base en sus propiedades físicas en estado sólido, es decir: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad.

El grupo de metales pesados ha estado asociado a la toxicidad y contaminación, debido a que ciertos metales pertenecientes a éste grupo generan afecciones graves en los seres vivos. Por lo anterior, se propone otra definición: “grupo de metales o metaloides asociados a contaminación y toxicidad potencial” (Reyes Navarrete, Alvarado de la Peña, Antuna, García Vargas, & Vázquez Alarcón, 2014).

Los metales están presentes en todos los organismos vivos y juegan diversos roles ya que pueden ser elementos estructurales, estabilizadores de estructuras biológicas y componentes de mecanismos de control. Sin embargo, cuando sus concentraciones rebasan los límites aceptados por los organismos vivos pueden ser tóxicos. Por otra parte, no se han adjudicado funciones esenciales a ciertos metales pesados y por el contrario, muestran manifestaciones tóxicas a concentraciones moderadas, es por lo anterior que el término “metal pesado” se asocia a la contaminación.

Si bien los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre, fácilmente pueden convertirse en contaminantes debido a las actividades antropogénicas. La extracción minera, el refinamiento de productos mineros, los efluentes y emisiones industriales (cementera, cantera, metalurgia) en conjunto con las emisiones vehiculares liberan concentraciones de metales pesados entre otras sustancias peligrosas para el ecosistema (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009). Aunado a lo anterior, la mala disposición de residuos metalúrgicos propicia la contaminación de suelo, agua y aire.

1.3.3. Cromo

El Cromo es un metal pesado que representa el sexto elemento en abundancia en la corteza terrestre en donde se encuentra como óxido (Cr_2O_3) y, combinado con Hierro y Oxígeno, en el mineral cromita. Fue descubierto en 1762 en el

cromato de plomo. Su nombre se deriva del griego “chromos” que significa “color” atribuido a los vivos colores de sus compuestos (Albert, 2006).

Como todos los metales de transición, el Cromo se encuentra en varios estados de oxidación, siendo los de importancia biológica el Cromo trivalente y el Cromo hexavalente; cada uno de ellos tiene propiedades químicas diferentes.

El Cromo trivalente se encuentra de manera natural, no obstante, al ser utilizado en procesos industriales, está presente en las emisiones de productoras de acero y combustión de ciertos materiales. El Cromo hexavalente se produce antropogénicamente principalmente por procesos químicos procedentes de la industria, actividades de cromado y torres de enfriamiento (Albert, 2006).

EL Cromo hexavalente es considerado la especie más tóxica y carcinógena (Azario, Susana, Ibarra, & García, 2010), se encuentra combinado con el oxígeno formando iones cromato o dicromato. En contraste, el Cromo trivalente presenta menor movilidad y existe principalmente unido a la materia orgánica en ambientes acuáticos y suelos (Azario, Susana, Ibarra, & García, 2010).

El Cr puede entrar en el organismo mediante la ingesta, inhalación y en menor porcentaje por absorción (Albert, 2006).

Usos del Cromo

Este metal tiene varias aplicaciones en el sector industrial, sin embargo el Cr⁺⁶ causa severa contaminación tanto al suelo como a los acuíferos (Azario, Susana, Ibarra, & García, 2010).

El Cromo es utilizado principalmente en la industria procesadora de cromita, aceros inoxidables, industrias galvánicas, curtidos, industria química, textil y en diversos pigmentos (Estrucplan, 2002).

Con respecto a la industria metalúrgica representa un componente esencial para generar acero inoxidable entre otras aleaciones metálicas. Debido a su resistencia y tenacidad, los aceros compuestos de Cromo se emplean en planchas de blindaje, proyectiles, cajas fuertes e incluso en prótesis ortopédicas

Los usos del Cromo en materiales refractarios incluyen la fabricación de ladrillos para hornos metalúrgicos y otras aplicaciones que requieren resistencia al calor.

La cromita se utiliza como aislante en los hornos industriales y en aleaciones (Albert, 2006).

Por otra parte, la industria química utiliza compuestos químicos derivados del Cromo trivalente y Cromo hexavalente que se usan para operaciones de cromado, manufactura de pigmentos y colorantes, curtido de pieles y tratamiento de maderas.

Fuentes de exposición

El Cromo entra al ambiente principalmente por las fuentes estacionarias. Las industrias productoras de acero y la combustión de diversos materiales generan más del 50% de emisiones de Cromo trivalente; mientras que menos del 35% de Cromo hexavalente emitido a la atmósfera proviene de la fabricación de productos químicos, actividades de cromado y torres de enfriamiento.

Aire

Se estimaba que los niveles naturales de concentración de Cromo en aire eran bajos (Albert, 2006), sin embargo, la expansión de zonas industriales sugiere grandes concentraciones de sustancias emitidas a la atmósfera, entre ellas el Cromo (Albert, 2006). Lo anterior pone en peligro la salud no solo de la población cercana, también afecta significativamente al medio natural.

Agua

Aunque se lleva un control sobre las sustancias químicas y biológicas presentes en el agua potable, el agua de pozos y cuerpos de agua dulce pueden tener concentraciones mayores a las admisibles de Cromo, ya que en las últimas décadas la producción de aceros, curtidos, protección de maderas, textiles y productos químicos se ha visto en incremento, lo que permite sugerir una elevación en las concentraciones tanto de Cromo trivalente como hexavalente no solo a causa de las emisiones sino por la descarga de aguas residuales que no tratadas (Albert, 2006).

Alimentos

El Cromo trivalente (Cr^{+3}) es un nutriente esencial para los seres humanos, se encuentra de manera natural en muchos vegetales, frutas, levadura, granos y carne (Albert, 2006).

No obstante, algunos métodos de preparación, procesamiento y almacenaje pueden modificar la concentración de Cromo. Por ejemplo, los alimentos ácidos que entran en contacto con latas o utensilios de acero inoxidable pueden tener cantidades elevadas de Cromo (Albert, 2006).

Otras fuentes

Aunque no representan una concentración alarmante se considera como fuente de exposición al Cromo el polvo de cemento, los tratamientos de protección de madera a base de sales de cobre, incluso los cigarrillos contienen de 0.24 a 14.6 mg/Kg de Cromo (Albert, 2006).

1.3.4. Afecciones que genera el Cromo hexavalente en la salud

Para fines prácticos se abordaran los efectos tóxicos a la exposición del Cromo hexavalente ya que es el elemento a analizar en el presente trabajo.

Los efectos a la salud dependen del estado de valencia en el momento de exposición y de la solubilidad. Dado que el metal es tanto inodoro como insípido, resulta difícil detectar si se está expuesto. (Lenntech, 2016).

Los compuestos de Cromo hexavalente (Cr^{+6}) son fuertes agentes oxidantes, tienden a ser irritantes y corrosivos, así mismo son considerablemente más tóxicos que los compuestos de Cromo trivalente. Lo anterior se debe a la facilidad que posee el Cromo hexavalente para atravesar las membranas celulares.

A continuación, se enuncian los efectos tóxicos de la exposición al Cromo hexavalente (Lenntech, 2016).

- Ojos: si se tiene una exposición crónica se presentará conjuntivitis, lagrimeo y dolor.
- Piel: A estar expuesta al Cromo hexavalente (VI) la piel sufre de irritación y ulceración, de igual forma pueden desencadenarse reacciones alérgicas caracterizadas por enrojecimiento severo y edema de la piel.
- Sistema respiratorio: La exposición a cantidades elevadas de Cromo VI en el aire inspirado puede causar irritación de nariz, estornudos, comezón, sangrado, úlceras, laringitis, rinitis, bronquitis, alteraciones al olfato, cáncer de pulmón y perforación del tabique nasal.

- Tracto gastrointestinal: La ingestión de cantidades mayores a los límites máximos permisibles de Cromo causa cuadros intestinales agudos con vómitos sanguinolentos, diarrea, sangre en las heces, e incluso puede causar colapso cardiovascular y la muerte.

Según el *Environmental Working Group*, la ruta más extensa de exposición al Cromo hexavalente es a través del agua potable contaminada (Reynolds).

1.4. Metales presentes en el ciclo hidrológico

La movilidad y fijación de los metales en el agua depende de una serie de procesos como la formación de complejos acuosos, la precipitación y disolución de minerales y otras reacciones que tienen lugar en la superficie de los sólidos. Estos procesos están influenciados por las propiedades del agua, es decir, el pH, dureza, entre otros (Ayora, 2008).

Los complejos acuosos se forman al interaccionar los iones metálicos disueltos con otras especies disueltas para formar especies acuosas más complejas (Barceló, 2008).

La disolución- precipitación de minerales es la principal fuente de metales y ejerce un mayor control sobre la concentración de los mismos en las aguas.

Generalmente, la movilidad de los metales es alta a pH bajo, es mínima al encontrarse un pH neutro y vuelve a aumentar con pH alto. Además de la disolución – precipitación existen otros mecanismos de interacción entre los metales del agua y sólidos. La superficie de los minerales es una zona donde se interrumpen los enlaces entre los átomos de la estructura sólida; por lo tanto es una región de mayor energía, que establece enlaces con las especies metálicas en solución (Ayora, 2008).

1.4.1. Sistemas de tratamiento de aguas contaminadas con metales

Los metales pesados son contaminantes nuevos para la comunidad científica y para la población, por lo que los tratamientos para descontaminación son pocos y se aplican al recurso agua en estado líquido.

Existen diversos sistemas de tratamiento para agua (Ayora, 2008), sin embargo, en la presente investigación se opta por mencionar tres sistemas de tratamiento que pueden aplicarse a los sistemas de captación pluvial. El objetivo es no

incrementar demasiado el costo del sistema para que siga siendo una solución rentable y fácil de instalar.

De la misma forma que la minería modifica drásticamente el ciclo de los metales, también la acción del hombre puede diseñar tecnologías para frenar esta contaminación; son los llamados tratamientos pasivos. Se trata de diseñar sistemas que imiten los procesos naturales que fijan los metales (Ayora, 2008). El flujo de agua superficial o subterránea contaminada se intercepta con materiales que sean:

- a. Reactivos, es decir, capaces de formar una fase sólida insoluble con el metal contaminante disuelta en el agua.
- b. Permeables, de manera que dejen pasar el agua a través mientras actúan como filtro.
- c. Pasivos, es decir, que funcionen de manera natural, aprovechando la gravedad sin necesidad de cuidado ni energía suplementaria

El Cromo hexavalente es un metal que se fija al agua en condiciones de pH ácido catalogándola como “agua ácida-neutra oxidante” (Ayora, 2008); por lo que el tratamiento **pasivo** adecuado para éste metal es la colocación de una barrera de hierro metálico (virutas de torneado), teniendo como proceso la reducción de SO₄ (Sulfatos) y precipitación de óxidos.

1.5. Técnicas instrumentales de detección: Colorimetría y Espectrofotometría de Luz Visible

La química analítica es la ciencia que estudia los cambios o transformaciones que experimenta la materia. A su vez, se clasifica en dos ramas: la química analítica cualitativa, que reconoce e identifica los elementos presentes en una muestra; y la química analítica cuantitativa, la cual determina las cantidades de elementos presentes en una muestra.

La colorimetría es una técnica instrumental que tiene por objeto determinar la absorción de la luz visible por una muestra, que puede ser una sustancia pura o bien una mezcla o disolución, con lo cual se pretende establecer el valor de la concentración de dicha sustancia en disolución, mediante la comparación del color de la misma con el de un patrón o referencia, sea ésta líquida o sólida (Vázquez, 2006).

Si un haz de luz blanca pasa a través de una celda de vidrio o cuba que haya sido llenada con un líquido, la radiación emergente es de menos potencia que la radiación que entra. La disminución en la potencia es por lo general de diferente grado para los distintos colores. Esta pérdida se debe en parte a las reflexiones en la superficie y en parte a la difusión provocada por cualquiera de las partículas en suspensión que se encuentran en el fluido, en cambio en los líquidos claros, el fenómeno ocurre debido a la absorción de la energía radiante por el líquido. Si la energía absorbida es mayor para algunas longitudes de onda del visible que para otras, el haz emergente aparecerá coloreado (Vázquez, 2006).

Por su parte, la espectroscopia surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda (λ). En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda. Más tarde el concepto se amplió enormemente para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de la frecuencia. Por tanto, la espectroscopia puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante (ν) (Universidad de La Plata , 2008).

Otras definiciones proponen adicionar la energía E como variable, ya que se establece la relación $E=h\nu$ para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro.

La espectrometría de absorción molecular visible se define como el procedimiento para aumentar la sensibilidad y/o la selectividad de los métodos espectrofotómetros: cambio de pH, enmascaramiento, extracción, organización de métodos organizados, etc.

La espectrofotometría diferencial es una técnica que aumenta la precisión, permitiendo un análisis con un margen de error muy bajo (Universidad de La Plata , 2008).

Se concluye el capítulo anterior no sin antes resaltar la importancia de la hidrología, tanto para las actividades humanas como para todo el conjunto de seres vivos, es decir, para el ecosistema. De igual forma, se abordan temas que hacen notar la problemática que se ha generado en México con respecto al abastecimiento y consumo del vital líquido, lo cual requiere dar solución a lo anterior por medio de sistemas con tecnología sustentable.

Capítulo 2. Marco Normativo

En el marco normativo se desglosan tanto leyes, decretos y normas referentes al tema de investigación que permitirán tener un panorama legislativo nacional e internacional con el objetivo de crear una comparación entre los límites permisibles de Cromo hexavalente.

2.1. **Ámbito de competencia internacional**

La legislación internacional para límites permisibles de Cromo se desglosará en dos secciones. Primero los límites permisibles de Cromo para agua potable; si bien la captación de agua pluvial no está enfocada hacia el consumo humano, es necesario abordar los límites permisibles de Cromo hexavalente a nivel internacional con fines comparativos.

Posterior a ello, los límites permisibles de Cromo para agua de riego agrícola ya que el agua pluvial tiende a utilizarse en éste sector económico, por lo que es fundamental desglosar la normatividad internacional sobre los límites permisibles del Cromo hexavalente para este rubro.

2.1.1 **Legislación Internacional para agua potable**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece ciertas directrices para la calidad del agua (ver tabla 1), que son para muchos países punto de referencia para el establecimiento de estándares y seguridad.

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Legislación aplicable
Organización Mundial de la Salud	Cromo total	Cr	0.05 mg/L	Directrices para la calidad de agua potable, establecidas en Génova 1993
Unión Europea			0.05 mg/L	Directiva 98/83 CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998

Tabla 1- Límites máximos permisibles de Cr total en agua potable de la OMS y la UE. Fuente- Elaboración propia con base en las Directrices de la OMS y la Directiva de la Unión Europea.

No obstante, en cuestiones de contaminación con metales pesados, los límites tienden a variar significativamente, lo cual resulta alarmante ya que se trata de sustancias altamente peligrosas.

Por su parte, la Unión Europea (UE) elaboro la Directiva 98/83 CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (ver tabla 1); mismo que considera necesario adaptar un marco legal adecuado, flexible y transparente que permita a los Estados miembros abordar los casos de incumplimiento de las normas (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1998).

La mencionada Directiva fue elaborada a partir de la antigua Directiva del Agua Potable de 1980, sin embargo, esta última carecía de la nueva información científica y no se consideraba lo suficientemente estricta con respecto a las sanciones.

Los estándares de contaminantes de la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea presentan algunas variaciones con respecto a los límites permisibles de contaminantes en agua potable; sin embargo, referente al Cromo no existe variación alguna (ver Anexo 1), ambos establecen 0.05 mg/L como límite máximo permisible (Lenntech, 2016).

Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993.

Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable.

Elemento/sustancia	Símbolo/fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas	Directriz de la OMS basada en la salud
Aluminio	Al		0,2 mg/l
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg/l (hasta 0,3 mg/l en aguas anaeróbicas)	No hay directriz
Antimonio	Sb	< 4 µg/l	0.005 mg/l
Arsénico	As		0,01 mg/l
Asbestos			No hay directriz
Bario	Ba		0,3 mg/l
Berilio	Be	< 1 µg/l	No hay directriz
Boro	B	< 1 mg/l	0,3 mg/l
Cadmio	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Cloro	Cl		250 mg/l
Cromo	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	0,05 mg/l
Color			No se menciona
Cobre	Cu		2 mg/l
Cianuro	CN ⁻		0,07 mg/l
Oxígeno disuelto	O ₂		No hay directriz
Fluor	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l

Imagen 4. Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993

Fuente- Lenntech, Directrices OMS, Génova 1993.

Disponibile en: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/potable/normas/estandares-calidad-agua-oms.htm>

Honduras

La Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuicultura, emitida el 15 de Mayo de 2001 por la Secretaria de Salud de la República de Honduras (ver Anexo 2), establece en el Artículo 10 que aquella agua destinada al consumo humano está dividida en dos categorías desde el punto de vista sanitario: categoría A y categoría B (ver Anexos 3 y 4), perteneciendo a la categoría A las agua que puede ser potabilizadas con adición de desinfectantes, mientras que la categoría B refiere a las aguas que pueden ser potabilizadas mediante tratamientos convencionales o avanzados (República de Honduras, Secretaria de Salud, 2001)

El parámetro permitido de Cromo hexavalente, tanto en la categoría A como en la categoría B, de aguas destinadas a consumo humano es de 0.05 mg/L (ver tabla 2) (República de Honduras, Secretaria de Salud, 2001) (ver Anexo 5).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Legislación aplicable
Honduras	Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	0.05 mg/L	Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuicultura (Artículo 10)

Tabla 2- Límites máximos permisibles de Cr hexavalente en agua potable de Honduras
Fuente- Elaboración propia con base en la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuicultura de Honduras.

Colombia

En el Decreto número 475 expedido el 10 de Marzo de 1998 por el Presidente de la Republica de Colombia (ver Anexo 6) en ejercicio de las facultades conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y, en desarrollo de las Leyes 09 de 1979 y 142 de 1994, se establecen las normas técnicas de calidad de agua potable (Gobierno de la República de Colombia, 1998).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Legislación aplicable
Colombia	Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	0.01 mg/L	Decreto Número 475 de 1998 (Artículo 8)

Tabla 3- Límites máximos permisibles de Cr hexavalente en agua potable de Colombia
Fuente- Elaboración propia con base en el Decreto Número 475 de 1998.

El Artículo 8 del dicho Decreto estipula los criterios químicos de la calidad del agua potable, los cuales se clasifican en dos: criterios de calidad química para características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud y criterios para elementos y compuestos químicos, diferentes a los plaguicidas y otras sustancias, que al sobrepasar los valores establecidos tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. Este último contiene el límite máximo permisible del Cromo hexavalente en agua potable, que es de 0.01 mg/L (ver tabla 3) (Gobierno de la República de Colombia, 1998). (ver Anexo 7).

Venezuela

La Administración de las Obras Sanitarias del Estado estipula en Diciembre de 2006 la Norma Interna de Calidad de Agua Potable (ver Anexo 8), donde se establecen parámetros, indicadores y los límites admitidos de diversas sustancias para prevenir y controlar los riesgos que impactan en la salud humana (Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Venezuela, 2006).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Legislación aplicable
Venezuela	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	Norma Interna de Calidad de Agua Potable de Venezuela

Tabla 4- Límites máximos permisibles de Cr total en agua potable de Venezuela.
Fuente- Elaboración propia con base en Norma Interna de Calidad de Agua Potable.

El punto 5.2 “componentes químicos y características físicas” especifica las sustancias químicas en el agua potable que pueden impactar negativamente a la salud (ver tabla 4), entre ellas se encuentra el Cromo total, el cual presenta un

límite máximo permisible de 0.05 mg/L (ver Anexo 9). (Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Venezuela, 2006).

2.1.2 Legislación Internacional para agua de riego

Organización Mundial de la Salud (OMS)

En 1993 se crea un documento por la Organización Mundial de la Salud que estipula los límites máximos permisibles de sustancias químicas presentes en el agua de riego (ver Anexo 10).

Lo anterior se llevó a cabo debido a que muchos países mezclan sus aguas domesticas con aguas industriales, las cuales se utilizan para riego, esto constituye un factor de riesgo para la salud ya que muchas sustancias químicas son bioacumulables por lo que se incrementa el índice de intoxicación (Suematsu, 1995).

Se establece como límite máximo permisible de Cromo total 0.1 mg/L en agua para riego agrícola (ver tabla 5).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua para riego agrícola	Legislación aplicable
Organización Mundial de la Salud	Cromo total	Cr	0.1 mg/L	Directrices para la medición de niveles máximos para metales en cultivos agrícolas

Tabla 4- Límites máximos permisibles de Cr total en agua para riego agrícola estipulados por la OMS.

Fuente- Elaboración propia con base en Directrices para la medición de niveles máximos para metales en cultivos agrícolas.

Honduras

La Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuacultura, emitida el 15 de Mayo de 2001 por la Secretaria de Salud de la Republica de Honduras (ver Anexo 2), establece en el Artículo 11 que el agua destinada al sector agrícola y pecuario será para irrigación de cultivos, consumo de ganado mayor y menor, así como para otras actividades que la Secretaría de Estado en el Despacho de Agricultura y Ganadería establezca.

Existen tres categorías para clasificar el uso del agua destinada al sector agrícola y pecuario: categoría A, referente al agua de riego de vegetales y frutas que se consumen crudos; categoría B, agua para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y; categoría C, agua para el consumo de ganado mayor y menor (ver anexo 11). (República de Honduras, Secretaria de Salud, 2001).

Tanto la categoría A (aguas de riego a vegetales que se comen crudos) como la B (otro tipo de cultivo), permiten un límite máximo de Cromo total de 0.05 mg/L (ver tabla 6), mientras que la categoría C (agua para consumo de ganado) permite como límite máximo 0.01 mg/L de Cromo total (ver Anexo 12). (República de Honduras, Secretaria de Salud, 2001).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua para riego agrícola	Legislación aplicable
Honduras	Cromo total	Cr	0.05 mg/L	Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuacultura (Artículo 11)

Tabla 6- Límites máximos permisibles de Cr total en agua para riego agrícola de Honduras

Fuente- Elaboración propia con base en la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, preservación de flora y fauna, abastecimiento de población y acuacultura de Honduras.

Venezuela

Se publicó el 11 de octubre de 1995 en la Gaceta Oficial Extraordinaria el Decreto No. 883 (ver Anexo 13), que establece la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente (Gobierno de la República de Venezuela, 1995).

En el capítulo II “clasificación de las aguas”, se determinan las aguas destinadas a usos agropecuarios, mismas que están divididas en sub-tipo 2A y sub-tipo 2B; siendo la primera clasificación las aguas destinadas al riego de vegetales para consumo humano. Por su parte, la clasificación 2B corresponde a las aguas para riego de cualquier otro tipo de cultivo (ver Anexos 14 y 15).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua para riego agrícola	Legislación aplicable
Venezuela	Cromo total	Cr	0.05 mg/L	Gaceta Oficial Extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto No. 883

Tabla 7- Límites máximos permisibles de Cr total en agua para riego agrícola de Venezuela.

Fuente- Elaboración propia con base en la Gaceta Oficial Extraordinaria: 5.021 del 18/12/95. Decreto No. 883.

Ambas clasificaciones presentan un límite máximo permisible de Cromo total de 0.05 mg/L (ver tabla 7) (Gobierno de la República de Venezuela, 1995).

2.2. Ámbitos de competencia Nacional de la República Mexicana

La legislación de competencia nacional se divide en dos aspectos: legislación para agua potable y legislación para agua de riego con respecto a los límites máximos permisibles de Cromo; tal y como en el apartado de ámbito de competencia internacional. Lo anterior tiene fines comparativos entre los dos ámbitos para generar perspectivas más amplias.

2.2.1 Legislación Nacional de la República Mexicana para agua potable

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

De acuerdo con la Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de Febrero de 1917, haciendo mención del Título Primero, capítulo uno “de los derechos humanos y sus garantías”, se establece en el artículo 4 que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico, donde el Estado garantiza el uso equitativo y sustentable del recurso hídrico. (H. Cámara de Diputados, 2006).

Código Administrativo del Estado de México

Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 2001. Establece en el Título cuarto “de la salubridad local”, capítulo I “disposiciones generales” que corresponde a la Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios del Estado de México (COPRISEM), como órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud ejercer el control sanitario de agua potable y alcantarillado,

y realizaran análisis periódicos de la potabilidad según Normas Oficiales Mexicanas (Legislatura del Estado de México, 2001).

Normas Oficiales Mexicanas

NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamiento al que debe someterse el agua para su potabilización.

Se establecen los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, de igual forma están contemplados dentro de la presente norma los sistemas de abastecimiento público y privado, así como cualquier persona física o moral que distribuya el recurso, en todo el territorio nacional (ver Anexo 16) (Gobierno de la República Mexicana, 2002).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Legislación aplicable
México	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamiento al que debe someterse el agua para su potabilización

Tabla 8- Límites máximos permisibles de Cr total en agua potable de la República Mexicana.

Fuente- Elaboración propia con base en la NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamiento al que debe someterse el agua para su potabilización.

En el punto 4.3 se especifican los límites permisibles de características químicas, donde se incluye el Cromo total (ver tabla 7), el cual presenta un límite máximo permisible de 0.05 mg/L (ver Anexo 17) (Gobierno de la República Mexicana, 2002).

2.2.2 Legislación Nacional para agua de riego

Normas Oficiales Mexicanas

NOM-CCA/032-ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Se considera que las aguas residuales de origen urbano y municipal sin tratamiento o mezcladas, son utilizadas en gran proporción para el riego agrícola, por lo que para prevenir el deterioro ecológico y asegurar la calidad del agua para el bienestar de la población, resulta necesario establecer parámetros físicos, químicos y en su caso bacteriológico en este tipo de aguas (ver Anexo 18) (Secretaria de Desarrollo Social, 1994).

Se establece en el punto 5 “especificaciones” los límites máximos permisibles de varios elementos químicos incluido el Cromo total (ver Anexo 19), que presenta 0.1mg/L en aguas para riego agrícola (ver tabla 9) (Secretaria de Desarrollo Social, 1994).

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua para riego agrícola	Legislación aplicable
Organización Mundial de la Salud	Cromo total	Cr	0.1 mg/L	NOM-CCA/032-ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola

Tabla 9- Límites máximos permisibles de Cr total en agua para riego agrícola de la República Mexicana.

Fuente- Elaboración propia con base en la NOM-CCA/032-ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

2.3. Análisis comparativo de legislación internacional y nacional

En la tabla 10 se muestran los límites permisibles de Cromo y Cromo hexavalente tanto de agua potable como de agua para riego agrícola de cada país que se abordó en párrafos anteriores.

Organización o País	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua potable	Elemento	Símbolo	Límite máximo permisible en agua para riego agrícola
Organización Mundial de la Salud	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	Cromo total	Cr total	0.1 mg/L
Unión Europea	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	NA	NA	NA
Honduras	Cromo hexavalente	Cr+6	0.05 mg/L	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L
Colombia	Cromo hexavalente	Cr+6	0.01 mg/L	NA	NA	NA
Venezuela	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L
México	Cromo total	Cr total	0.05 mg/L	Cromo total	Cr total	0.1 mg/L

Tabla 10- Límites máximos permisibles de Cr total y Cromo hexavalente procedentes de la legislación internacional y nacional.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de cada país y organización abordados en líneas anteriores.

En primera instancia se observa una falta de estandarización y conocimiento con respecto a los contaminantes inmersos en el agua potable, debido a que solo dos países (Honduras y Colombia), consideran al Cromo hexavalente como agente contaminante del agua para consumo humano (ver tabla 10).

Por otra parte, no existe un límite máximo permisible referente al Cromo hexavalente, ya que ambos países que lo consideran como elemento contaminante para el agua potable mantienen cifras distintas.

México adopta los estándares de la Organización Mundial de la Salud, sin embargo, surge la inquietud sobre reconsiderar los límites estipulados al notar que otros países mantienen estándares más estrictos.

Los límites permisibles del agua para riego agrícola arrojan nuevamente una discrepancia tanto en el elemento sujeto a medición como en las concentraciones permisibles.

Se observa que la OMS, la UE y México mantienen límites altos con respecto al Cromo total en el agua de riego (ver tabla 10). Por otra parte, tanto Honduras

como Venezuela mantienen un límite permisible bajo para las concentraciones de Cromo total.

Capítulo 3. Marco contextual

En este capítulo se aborda el contexto de la presente investigación a partir de la República Mexicana, posteriormente Estado de México y los municipios de Toluca, Lerma y Metepec, por lo que se describirán aspectos físicos y sociales de las locaciones en cuestión.

Cabe mencionar que se incluye dentro del municipio de Toluca a la FaPUR, a pesar de que la investigación no se realizó en su totalidad en las canaletas de la FaPUR como se planteaba en un inicio, es tomada en consideración como parte del marco contextual debido a que fue la primera locación y a partir de ella se extendió la investigación a los dos municipios restantes (Metepec y Lerma), así mismo resulta como contexto de la primer hipótesis planteada.

3.1. República Mexicana



Mapa 1. Ubicación de la República Mexicana
Fuente- Elaboración propia con base en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Su nombre Oficial es Estados Unidos Mexicanos, sin embargo por su forma de gobierno se le conoce como República Mexicana (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017)

Está situado en el continente americano; de acuerdo con el Ecuador se encuentra en el Hemisferio Norte, y de acuerdo con el Meridiano de Greenwich, en el Hemisferio Occidental (ver mapa 1). Colinda al Norte con Estados Unidos de América y al Sur y Oeste con el Océano Pacífico, al Este con el Golfo de

México y el Mar Caribe y al Sureste con Guatemala y Belice (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

El territorio mexicano se encuentra entre los paralelos 14° 33´ N y 32° 43´N y entre los meridianos 86° 46´W y 118° 20´W (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

La República Mexicana se encuentra atravesada por el trópico de Cáncer, por lo que el país se extiende a lo largo de las zonas térmicas: la templada del Norte. El clima del Sur es templado y tropical solo en las costas; en contraste con el Norte donde impera un clima árido y seco (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Contar con una gama variada de climas ha permitido el desarrollo de una diversidad biológica, así como de paisajes naturales.

La geología del suelo mexicano fue y es muy activa (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017), ya que el país cuenta con una inmensa variedad de formas de relieve, como cadenas montañosas, mesetas, llanuras, depresiones, valles y volcanes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Para organizar, gobernar y administrar su territorio, México se compone de 32 estados. La Ciudad de México es la capital y la sede de los tres Poderes de Gobierno (Ejecutivo, Legislativo y Judicial). Cada estado está constituido a su vez por municipios, de los cuales hay en todo el país 2,456. Por su parte la ciudad de México se integra por 16 delegaciones políticas.

3.2. Estado de México



Mapa 2. Ubicación del Estado de México

Fuente- Elaboración propia con base en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

La mayor parte del territorio mexiquense se localiza en la parte central del Eje Neo volcánico. Comprende los valles de México, Toluca, parte del valle de Puebla-Tlaxcala, así como las cadenas montañosas Sierra Nevada, Monte de las Cruces, Monte Alto y Cumbres Occidentales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017). Sus coordenadas son 19°21'15"N 99°37'51"O y colinda con la Ciudad de México, Guerrero, Michoacán, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Querétaro e Hidalgo (ver mapa 2).

La capital mexiquense es Toluca de Lerdo. Comprende una población de 16,187,608 habitantes, siendo Ecatepec de Morelos el municipio con mayor población. El Estado de México se encuentra dividido en 125 municipios, agrupados en 16 regiones (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Con respecto a los aspectos físicos, el clima en general es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 14° C; las temperaturas más bajas se presentan en los meses de Enero y Febrero (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

El estado está comprendido en tres grandes cuencas: Lerma con 27%, Balsas 37% y Pánuco 35% (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Por otra parte, el estado cuenta con varias áreas naturales protegidas. Las más importantes son: El Desierto del Carmen, Bosque de Bosencheve, Lagunas de Zempoala, Los Remedios Netzahualcoyotl, El Nevado de Toluca, Zoquiapan, El

Sacromonte, Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca y Popocatepetl & Iztaccìhuatl (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017).

Las actividades económicas primarias abarcan 1.60 del porcentaje de aportación al PIB estatal; las actividades secundarias representan 34.87% donde se contemplan las industrias manufactureras; finalmente las actividades terciarias representan 63.53%, donde se incluye el comercio, transportes y actividades de gobierno.

3.3. Municipio Toluca de Lerdo Ubicación



Mapa 3. Ubicación del Municipio de Toluca de Lerdo
Fuente- Elaboración propia con base en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

El municipio de Toluca cuenta con una extensión de 420.14, ubicado como el décimo tercer municipio en tamaño del estado de México; se localiza en la posición central de la entidad y sus coordenadas extremas son: latitud norte entre 18° 59'02" y 19° 27'09" y entre 99° 31'43" y 99° 46'59" longitud oeste del meridiano de Greenwich (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

En promedio la latitud es de 2,600 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo al reglamento de la Ley de Planeación en del Estado de México, el municipio de Toluca pertenece a la región XIII: Toluca (ver mapa 3).

Colindancia

El Municipio de Toluca colinda al Norte con los municipios de Temoaya, Oztolotepec, Ixtlahuaca y Xonacatlán; al Noreste con Lerma; al Este con San Mateo Atenco, Metepec, Calimaya y Tenango del Valle; al Sur con Villa Guerrero y Coatepec Harinas; al Oeste con Zinacantepec y al Noroeste con Almoloya de Juárez (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Clima

El municipio de Toluca tiene un clima predominantemente frío; tanto por la altura sobre el nivel del mar como también por la presencia de una de las elevaciones más importante en la entidad: el volcán "Xinantécatl o Nevado de Toluca (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

El municipio presenta tres tipos de sub climas predominantes (ver imagen 5): el templado subhúmedo que está presente en gran parte del territorio (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015). El frío que se presenta en la zona del Volcán de Toluca y el semifrío que se ubica en las faldas del volcán (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

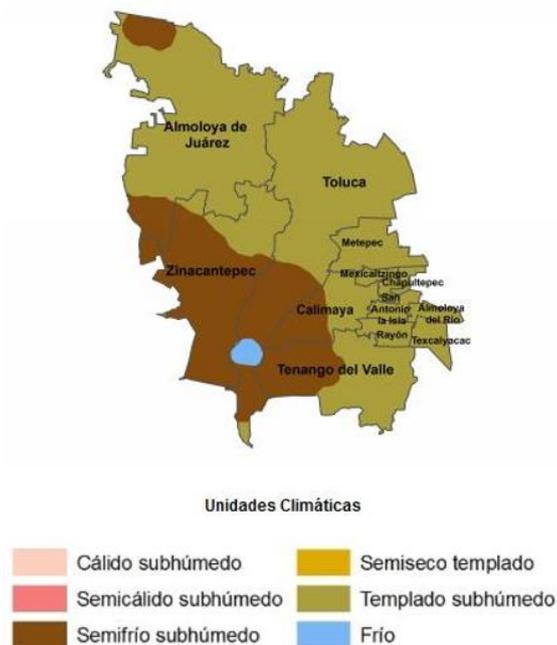


Imagen 5- Clima de la Región XIII: Toluca
Fuente- Plan de Desarrollo Municipal de Toluca
<http://PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202013-2015%20número%20centrado.pdf>

Edafología

El suelo del municipio de Toluca está sujeto a diferentes actividades como la agricultura, aprovechamiento forestal, implantación de pastizales, soporte a centros poblacionales e industria.

Los suelos que predominan en el municipio de Toluca son los feozémháplico, combinado con vertisolpélico, usados generalmente en la agricultura; sin embargo también son aptos para asentamientos urbanos (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

El suelo andosol se caracteriza por ser un suelo profundo, lo que les permite tener una permeabilidad moderada y en algunos casos alta y un drenaje interno bueno; la vegetación que se presenta es de bosque, aunque en algunas zonas existen usos agrícolas y pecuarios con rendimientos bajos. No es apto para el desarrollo urbano, ya que son suelos colapsables; generalmente se localizan en la parte sur del municipio, principalmente en las faldas del Nevado de Toluca (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

El tipo de suelo planosol presenta condiciones para el uso agrícola, sin embargo son susceptibles a erosionarse, ya que son impermeables. Son aptos para el uso urbano y se localiza en mínima proporción en la parte central de San Pablo Autopan, al norte del municipio (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

En las zonas de inundación se ubican los suelos de tipo histosol éurico; en los declives suaves de las montañas y las sierras los cambisol éutricos, en las regiones más altas los de regosol éutrico, y en las zonas erosionadas predomina el litosol, suelo de roca dura y escasa profundidad de la capa superficial (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Hidrología

El sistema hidrológico del municipio coincide con la cuenca alta del Río Lerma, y es limitado, comprende a los ríos Lerma y Xicualtenco o Verdiguél. Existen también algunos pequeños arroyos: el de San Marcos y otros que se forman durante la temporada de lluvias, como el Tejalpa; pero en general se carece de corrientes acuíferas y de manantiales de alguna importancia (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Existen dos lagunas localizadas en el cráter del Nevado de Toluca, conocidas con el nombre de lagunas del Sol y de la Luna, las cuales cubren una superficie de 18.94 y 2.06 hectáreas, respectivamente, en donde se realizan actividades de acuacultura y también se destina parte de esta agua al riego agrícola (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

En los Ríos Lerma y Verdiguél se vierten descargas de todo tipo sin previo tratamiento, así como residuos sólidos. En este caso, es preciso mencionar que a lo largo de los ríos se observan tiraderos clandestinos de residuos sólidos, animales muertos y proliferación de fauna nociva, lo que impide el cauce de los ríos y la degradación y pérdida de la flora y fauna de la zona (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Uso de suelo

El municipio de Toluca posee una ubicación estratégica, lo anterior sustentado a su cercanía respecto a la Ciudad de México, así como a la Zona Metropolitana en la que se integra, lo que ha generado una serie de retos en materia urbana y ambiental debido a las presiones de ocupación de su territorio, que se ha caracterizado por una falta de sustentabilidad, tanto ambiental, como urbana y social (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Toluca cuenta con 209,574 propiedades divididas en varios usos como: agrícola, industrial, comercial, habitacional y reservas naturales; donde el sector habitacional representa más del 50%.

Con respecto a la industria, se clasifica en ligera, mediana y pesada, predominando esta última con 1,092 propiedades.

POR TIPO DE ÁREAHOMOGÉNEA				
COD	MUNICIPIO	TIPO	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES
101	TOLUCA	A1	Agrícola	2,497
101	TOLUCA	A3	Agrícola de humedad	7
101	TOLUCA	A4	Agrícola de temporal	1,921
101	TOLUCA	B1	Agostadero praderas naturales	1
101	TOLUCA	C1	Comercial bajo	15
101	TOLUCA	C2	Comercial medio	2,010
101	TOLUCA	E1	Equipamiento	1,880
101	TOLUCA	H1	Habitacional precario	9,674
101	TOLUCA	H2	Habitacional popular	71,291
101	TOLUCA	H3	Habitacional interés social	59,440
101	TOLUCA	H4	Habitacional residencial medio	56,012
101	TOLUCA	H5	Habitacional residencial bueno	2,838
101	TOLUCA	I2	Industrial ligera	234
101	TOLUCA	I3	Industrial mediana	47
101	TOLUCA	I4	Industrial pesada	1,092
101	TOLUCA	L1	Especial Ruinas y Sitios arqueológicos	72
101	TOLUCA	L3	Especial reservas naturales	543
SUMA				209,574

Imagen 6- Propiedades por tipo de suelo.
Fuente- Plan de Desarrollo Municipal de Toluca
<http://PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202013-2015%20número%20centrado.pdf>

Actividades Económicas

A continuación, se muestran las unidades económicas del municipio de Toluca, que dan una suma total de 39,211 (ver imagen 7).

Sector de Actividad Económica	39 211
Agricultura, cría y explotación de animales	1
Minería	11
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	12
Construcción	172
Industrias manufactureras	3 464
Comercio al por mayor	1 201
Comercio al por menor	18 632
Transportes, correos y almacenamiento	159
Información en medios masivos	136
Servicios financieros y de seguros	288
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes	403
Servicios profesionales, científicos y técnicos	890
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos	977
Servicios educativos	919
Servicios de salud y de asistencia social	1 428
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos	391
Servicios de alojamiento temporal	3 457
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	5 547
Actividades legislativas, gubernamentales	911
No especificado	212

Imagen 7- Unidades Económicas de Toluca.
Fuente- Plan de Desarrollo Municipal de Toluca
<http://PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202013-2015%20número%20centrado.pdf>

Sector Agropecuario

El sector primario ha decaído de forma acelerada, no obstante éste continúa siendo de suma importancia para la estabilidad de un grupo poblacional, ya que más del 25% del total de los toluqueños radican en comunidades donde se realiza la actividad agrícola (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015), y tan solo con esta población económicamente activa se produce un total de 58,000 toneladas de maíz por ciclo agrícola que alimenta a igual número de familias en un año.

El municipio de Toluca cuenta con un potencial productivo de maíz al tener una producción en toneladas de 86,604.65 representando el 53.6% del total cosechado (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015), mismo que puede ser utilizado con doble propósito (grano y forraje) así como avena y trigo, cultivos importantes que sirven de insumos para la engorda de ganado.

Sector Industrial

La industrialización en el municipio de Toluca está vinculada al crecimiento de las actividades fabriles y la manufactura, mismas que generan desarrollo económico (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Se considera a la industria manufacturera y automotriz como ejes innovadores para la generación de empleos a gran escala. En Toluca existen 10 parques industriales, los cuales albergan 245 empresas. Las más importantes son ensambladoras automotrices, almacenes de refacciones y centros de distribución de partes. A continuación se nombran algunas de ellas: General Motors (fabricación de motores y Centro de Diseño), Chrysler (Ensamble de Fiat 500 y Dodge Journey; además de Centro de Distribución de Partes MOPAR), Daimler-Freightliner (Ensamble de camiones), BMW (Planta de blindaje de autos y Centro de entrenamiento), Nissan (Centro de Diseño y Almacén de Refacciones), Autos Mastretta (Ensamble de autos), Italika (Ensamble de motocicletas), Peugeot (Almacén de refacciones) y Volvo (Centro de Distribución de partes) (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

Sector Servicios

Las actividades económicas que se desarrollan en el municipio son diversas, tomando mayor relevancia los sectores terciario y secundario, mismos que concentran el 70.96% y el 27.12% de la Población Económicamente Activa (PEA) respectivamente, dejando una mínima participación (1.23%) al sector primario (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

A pesar de su preeminencia, el sector servicios debe ser fortalecido, sobre todo en el rubro turístico, hecho que lo asocie como una ventaja competitiva del territorio.

Ubicación de muestreo



● Zona de muestreo

Mapa 4. Zona de muestreo en Toluca de Lerdo
Fuente- Elaboración propia mediante el mapa digital de México y el Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2015.

La zona de recolección de muestras en el municipio de Toluca fue en San Pedro Totoltepec (ver mapa 4), ubicado al Norte del municipio.

Se optó por buscar un punto cercano a los corredores industriales tanto de Lerma como de Toluca; ya que anteriormente se recolectaron y analizaron muestras de agua en el centro del municipio (FaPUR).

Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR)

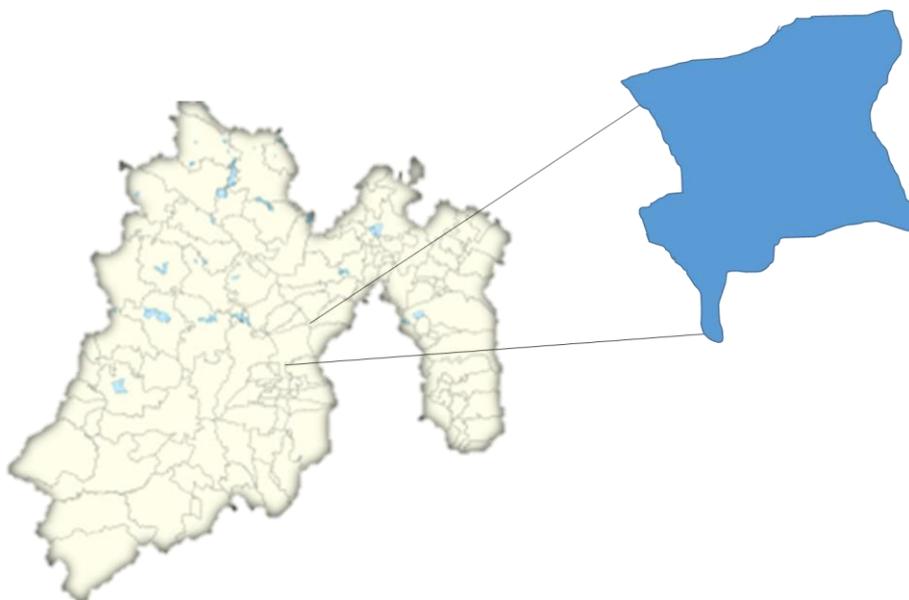
La Facultad de Planeación Urbana y Regional, misma que está ubicada en el Estado de México, municipio de Toluca sobre la calle de Matamoros esquina con Paseo Tollocan; la facultad pertenece al campus Colon de la Universidad

Autónoma del Estado de México, por lo que es necesario hacer observaciones sobre las características físicas del municipio Toluca, mismas que se desarrollaran a lo largo de este capítulo.

La facultad oferta dos carreras, siendo la más reciente la licenciatura en ciencias ambientales, por otra parte, con más años de trayectoria, se oferta la licenciatura en planeación urbana y regional. Los periodos de estudio se estructuran por semestres siendo la duración mínima de estudios de 4 años y medio.

Pese a su reducido tamaño, cuenta con cuatro edificios de dos plantas de los cuales se destina uno de ellos para impartir clases, el cual se ubica en la zona Sur; dos edificios más son utilizados para impartir clases extracurriculares, de igual forma está compuesto por cubículos mismos que son ocupados por los docentes de tiempo completo, dichos edificios se encuentran en la parte Norte y Noroeste de la Facultad, por último, en el corazón de la Institución se localiza el Centro de Investigaciones y en la planta baja el Centro de Estudios Territoriales Aplicados (CETA).

3.4. Municipio de Lerma de Villada **Ubicación**



Mapa 5. Ubicación del Municipio de Lerma de Villada
Fuente- Elaboración propia con base en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

El municipio de Lerma se encuentra ubicado en la zona central del lado Oeste del estado, denominada Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ver mapa 5).

Se encuentra entre las coordenadas 19° 13' - 19° 26' de latitud norte y 99° 22' - 99° 34' de longitud oeste, una altitud de 2500 a 3500 metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión territorial de 228,64 kilómetros cuadrados (H. Ayuntamiento de Lerma , 2016).

Colindancia

Limita al norte con el municipio de Xonacatlán, al noreste con Naucalpan, al este con Huixquilucan, al sur con Ocoyoacac y Capulhuac, al oeste con San Mateo Atenco y Toluca, y al noroeste con Oztolotepec. (H. Ayuntamiento de Lerma , 2016).

Clima

La cabecera municipal tiene un clima templado subhúmedo, mientras que las planicies bajas de la municipalidad gozan de un clima templado; los meses más calurosos son mayo y junio (H. Ayuntamiento de Lerma , 2016).

Se estima que la temperatura promedio es de 19° C, aunque se ha registrado una máxima de 30° C y una mínima de 7° C (H. Ayuntamiento de Lerma , 2016).

Edafología

En el municipio de Lerma se han determinado siete tipos de suelos que se mencionan a continuación:

Andosol (31.14%), Phaeozem (24.98 %), Durisol (12.81%), Vertisol (12.72 %), Luvisol (4.64 %), Histosol (1.46 %) y Leptosol (0.34 %).

Hidrografía

El municipio de Lerma se encuentra sobre la región hidrológica de Lerma-Santiago (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Los cauces que destacan por su importancia en el municipio de Lerma son: Salto del Agua, Flor de Gallo, San Mateo, Río Seco y Peralta; además se encuentra el Río Lerma, que actualmente no se considera una fuente de abastecimiento, por ser ocupado como drenaje, donde se descargan aguas residuales, tanto domésticas como industriales (H. Ayuntamiento de Lerma , 2016).

Se cuenta también con dos ríos: San Lorenzo y Zolotepec, localizados al norte, entre el municipio de Xonacatlán y Lerma. La Laguna de Salazar, así como 38 pozos profundos (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Uso de suelo

Uso del Suelo de Lerma		
Uso	Superficie ha.	%
Urbano	4,403.08	18.93
Agrícola	7,139.43	30.70
Industrial	802.01	3.45
Comercial y servicios	125.68	0.54
Forestal	8,910.90	38.31
Cuerpos de agua	1,110.41	4.77
Otros usos	767.25	3.30
Total	23,258.76	100

Imagen 8- Usos de Suelos en Lerma de Villada.
Fuente- Plan de Desarrollo Municipal de Lerma
http://lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf

El 30.7% de la superficie del municipio de Lerma es utilizada para la agricultura (ver imagen 8), actividad que en definitiva se encuentra en ceros en cuanto a su participación de la integración del PIB (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015), lo que significa que la actividad no es productiva.

El sector urbano posee un 18.93% con respecto al uso del suelo del municipio. Por otra parte, se observa que el uso forestal contempla un 8.31%. Mientras que el sector industrial cuenta con 3.45 %.

Actividades económicas

Sector Agrícola

Es la actividad menos representativa en el PIIB municipal al alcanzar el 0.15% y quien cuenta con solo 3.2% de la población ocupada, cifras inferiores a la media nacional y estatal. Esta situación contrasta con el uso de suelo municipal que es de alrededor del 70% para uso agrícola y forestal (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Lerma tiene dos tipos de tenencia de la tierra que poseen los núcleos agrarios, siendo las siguientes:

Tierra Ejidal: se encuentran estructuradas y lotificadas como si fueran propiedad privada, están consideradas dentro de la mancha urbana al contar con servicios, infraestructura y equipamiento. Representan una superficie total de 9,506.03 hectáreas, lo que representa el 40.87 % del total de municipio (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Por otra parte, el otro tipo de tenencia se cataloga como: Tierra comunal. Al igual que la anterior, se encuentran estructuradas y lotificadas como si fueran propiedad privada. Aunque poseen espacios de uso común, cuentan con servicios, infraestructura y equipamiento, la mayoría de los núcleos agrarios poseen tierras de uso forestal. Éste tipo de tenencia comprende 7.207.70 hectáreas, que son el 30.99% del total del territorio municipal (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Sector forestal

Inventario Forestal. Lerma 2010		
Variedad forestal	Hectáreas	Localidad
Bosque de oyamel	3,008	Localizados principalmente en los cerros de Garambullos, La Campana, Santiago La Palma, así como algunas cañadas y barrancos
Bosque de oyamel con vegetación secundaria arbustiva	143	La vertiente norte del Cerro Brazo del Monte
Bosque	48	
Bosque de Pino	1169	Zacamulpa Tlalmimilolpan y Huitzilapan
Bosque de PINO con vegetación secundaria arbustiva.	190	Zacamulpa Tlalmimilolpan y Huitzilapan
Bosque de Encino	1085	En la vertiente norte y noroccidental del volcán de la Verónica, en los alrededores de la comunidad de Salazar y en las Rajas Huitzilapan
Bosque de Encino con vegetación secundaria arbustiva	719	San José el Llanito, Ameyalco y la zona de pie de monte en las comunidades de Atarasquillo, Santiago Analco, Xochicuautila, San Lorenzo Huitzilapan
Bosque de encino- pino	173	de Atarasquillo, Santiago Analco, Xochicuautila, San Lorenzo Huitzilapan
Bosque mixto	48	Se localiza en la colada lávica de Arromolulco, al sur del Volcán de la Verónica y alrededor del cerro Loma del Aire
Pastizal	1 338	Valles intermontañosos
Vegetación hidrófila o Tular	2461	Laguna de Chignahuapan, San Pedro Tultepec
Degradación	178	

Fuente: Gobierno del Estado de México. PROBOSQUE. Inventario Forestal 2010.

Imagen 9- Sector Forestal del municipio de Lerma.
Fuente- Plan de Desarrollo Municipal de Lerma
[http://lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/
plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf](http://lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf)

A pesar de los esfuerzos que han realizado los comuneros agrícolas al generar un programa anual de reforestación (ver imagen 9), hoy día se ven amenazados por: Incendios, plagas y erosión, tala clandestina, crecimiento urbano y la poca actividad de reforestación (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Sector industrial

En el año 2010 estaban establecidas en el municipio de Lerma 740 industrias manufactureras que emplean al 46.05% de la población ocupada y aportan el 72.58% al PIB municipal (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015). Dichas industrias se encuentran localizadas en su mayoría en siete parques industriales asentados en territorio municipal, en ramas de producción como la textil, automotriz, química, metalmecánica y alimentos.

Considerados dentro de este sector, se encuentran los talleres familiares y la actividad artesanal.

Los talleres familiares dedicados a la producción de muebles, son una actividad concentrada en San Pedro Tultepec, emplean a personas de distintos puntos del municipio y contribuyen a generar negocios similares, sobre todo en Santa María y la Colonia Álvaro Obregón (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015).

Por otra parte, la actividad artesanal es poco representativa en Lerma (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015), no obstante se tiene registro de las siguientes actividades en diferentes puntos del municipio:

San Pedro Tultepec: esculturas, carretas, muñecas, caballitos, petates, sopladores de tule.

San miguel Ameyalco: tejidos de tela de cintura, bordado a mano en servilleta, manteles, fajas, elaboración de ayates.

Huitzilapan: elaboración de portadas con penca de agave.

Santiago Analco: mulitas que se realizan con hojas de maíz adornadas con semillas.

Sector servicios

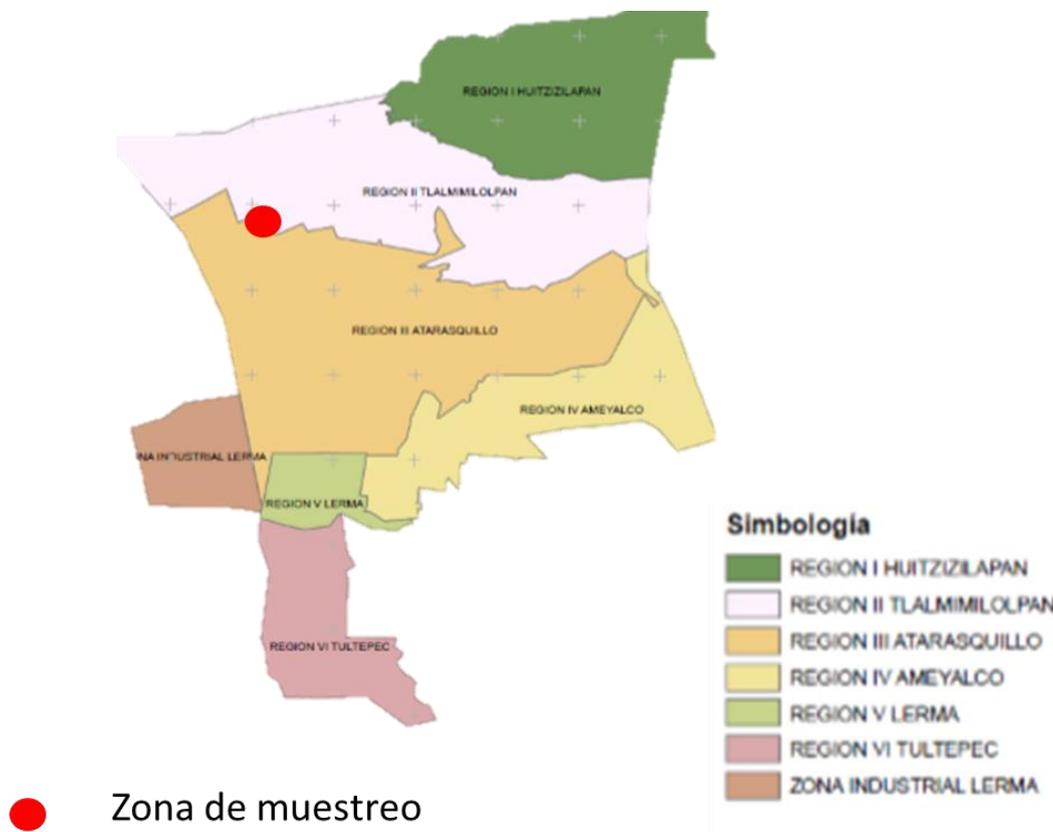
Son todas aquellas actividades que agrupan distintos tipos de servicios como: comercio, transporte, turismo, entre otras. En Lerma es el sector que más empleos genera al concentrar al 49.76% de la población ocupada, sin embargo aporta 23.16% del PIB municipal (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015)

Actualmente se cuenta con 2 mil 173 establecimientos comerciales en Lerma (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015). La mayor parte de ellos se concentran en el comercio minorista. Solo 153 unidades económicas se dedican principalmente al comercio por mayor.

La instalación de la Plaza Outlet Lerma en el año 2001, marca un hito en el desarrollo comercial de Lerma (H. Ayuntamiento de Lerma , 2015), por lo que llegan grandes almacenes como Centro Comercial Sendero, City Club, Walt Mart, entre otros.

Ubicación de zona de muestreo

Se opta por realizar el muestreo entre la zona centro y el corredor industrial (ver mapa 6).



Mapa 6. Zona de muestreo en Lerma de Villada
 Fuente- Elaboración propia mediante el mapa digital de México y el Plan de Desarrollo Municipal de Lerma 2015.

3.5. Municipio de Metepec



Mapa 7. Ubicación del Municipio de Metepec.
 Fuente- Elaboración propia con base en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Ubicación

El municipio de Metepec se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 19°15'14" al norte y 19°12'53" al sur de latitud; al este 99°30'45" y al oeste 99°36'17" de longitud, con una altitud que va de los 2 mil 500 a los 2 mil 8004 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

La extensión territorial del municipio es de 6,969.59 hectáreas, equivalente al 0.32% del territorio estatal (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Colindancia

El municipio de Metepec se encuentra ubicado al Norte con los municipios de Toluca y San Mateo Atenco; al Este con los municipios de San Mateo Atenco, Tianguistenco y Chapultepec; al Sur con los municipios de Chapultepec, Mexicaltzingo y Calimaya; al Oeste con los municipios de Calimaya y Toluca (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Clima

El clima predominante en Metepec es templado subhúmedo. La temperatura media fluctúa entre los 10 y 14°C, mientras que en el invierno se registran temperaturas de dos a 3°C bajo cero. Se registran, aproximadamente, entre ocho y diez días de heladas, y de dos a cuatro días de granizadas al año. La máxima precipitación pluvial que se registra es en el mes de julio, con una variación de entre 150 y 180 mm

Edafología

La edafología del municipio de Metepec se compone de tres tipos de suelo: feozem (0.0005km²), litosol (0.000001km²) e histosol (0.00002km²). Sus características se consideran propicias para desarrollar actividades urbanas o rurales, ya que son ricos en nutrientes y materia orgánica, además de ser suelos propicios para ciertos tipos de vegetación (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Las características edafológicas del municipio son: Gruesa, menos de 18% de arcilla y más de 65% de arena; Media, menos de 35% de arcilla y menos de 65%

de arena, y Fina, más de 35% de arcilla (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Hidrología

No existen corrientes superficiales de importancia, pues las que hay son arroyos utilizados como drenes naturales. Sin embargo, hay corrientes subterráneas con importantes veneros, mantos acuíferos y freáticos que se utilizan para la extracción de agua y su posterior potabilización y distribución (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Al sur del municipio, desde San Bartolomé Tlaltelulco hasta San Lucas Tunco, se localiza una corriente de agua intermitente de nombre El Arenal, que continúa hasta San Mateo Atenco y que es utilizada como canal de desagüe en época de lluvia (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

El municipio cuenta con siete títulos de concesión de aguas nacionales que amparan la extracción del recurso para su distribución a través de 35 pozos profundos administrados por el Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Metepec (OPDAPAS), por lo que no depende de fuentes externas para el abasto de agua potable (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Uso de suelo

El Municipio de Metepec cuenta con una superficie de 6 mil 751.89 hectáreas divididas en ocho tipos de suelo. El Urbano ocupa el 67.59% del territorio total del municipio, mientras el que es utilizado para agricultura representa el 31.95 (mecanizada continua 30.18%, mecanizada estacional 1.74% y manual estacional 0.49%) y de pastizal solo ocupa el 0.46 % del territorio (ver imagen 10).

Uso	Superficie	%	Principales Características y problemas que presenta el usos de suelo
Agricultura	2 156 km ²	31.95	El uso agrícola de media productividad se concentra en la zona sur y sureste del Municipio ejido San Miguel Totocuitlapilco, ejido las Lágrimas, ejido San Sebastián, San Lucas tunco, San Bartolomé Tlaltelulco y Santa María Magdalena Ocotitlán. La situación adversa que presentan estas zonas radica en la carencia de recursos económicos propios y del gobierno para subsidiar el equipamiento y las herramientas necesarias que incrementen el volumen y la calidad de los productos agrícolas.
Zonas Urbanas	4 562 km ²	67.59	El crecimiento poblacional acelerado y las actividades económicas que se presentan en el Municipio han traído como consecuencia el cambio de uso de suelo agrícola por urbano. El principal problema radica en la escasez de suelo por la demanda demográfica y por esto mismo se dificulta cubrir de manera total con los servicios públicos.
Pastizal	33 km ²	0.49	El porcentaje de áreas naturales es muy reducido como lo podemos observar en el porcentaje total del territorio municipal, razón por la cual se considera importante destinar espacios para que sean ocupados como áreas verdes y los que ya se encuentran mantenerlos y cuidarlos.

Imagen 10- Uso de suelo en el municipio de Metepec

Fuente- Gaceta Municipal de Metepec

http://www.metepec.gob.mx/wpcontent/uploads/files/GACETA/GACETA%202016/03Las3116_GACETA_31_2016.pdf

3.5.7. Actividades económicas

En el Municipio de Metepec se desarrollan actividades económicas relacionadas principalmente con el sector servicios en un 89.93%; en segundo lugar el sector industrial con el 10.05%, y en tercer lugar el sector agrícola, con 0.008%, en conjunto aportan \$35 mil 179.68 millones del Producto Interno Bruto Municipal.

Sector Agrícola

Debido al crecimiento descontrolado de la mancha urbana que va mermando los terrenos de cultivo, la actividad ganadera y agrícola se encuentran rezagadas, por lo tanto, no son tan frecuentes como en otras regiones del Estado de México. La plusvalía de los terrenos ha crecido, y el cambio de uso de suelo ha permitido la venta de predios con vocación productiva (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Datos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2008), señalan que la superficie total sembrada de riego y temporal en el Estado de México es de 1 millón 516 mil 947.90 hectáreas, que equivalen al 67.86% de la superficie total del territorio mexiquense que es de 2 millones 235 mil 100 hectáreas, de este total Metepec representa solo el 0.4% de superficie total sembrada (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

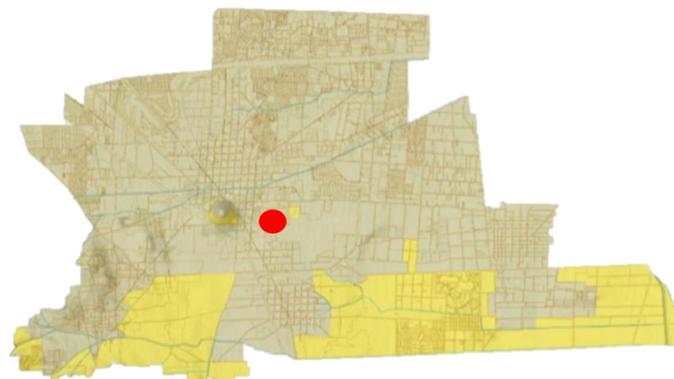
Sector Servicios

Al incrementar la población, aumentó la necesidad de contar con servicios comerciales más cercanos a las viviendas, generado que una parte de la población emprenda algún negocio mercantil, con la finalidad de satisfacer la demanda de bienes de consumo básico, al igual que aquellos que dependen del conocimiento y tiempo de la gente como los servicios educativos, culturales, servicios financieros y profesionales entre otros (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Metepec se ubica en un sitio geográfico estratégico entre la Ciudad de México y Toluca, sitios claves generadores de industria y comercio, convirtiéndolo en un Municipio atractivo para las inversiones. Debido a las transformaciones en las actividades económicas, el número de unidades económicas se ha incrementado 40.60% en menos de una década. (Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México, 2016).

Ubicación de zona de muestreo

Se opta por tomar muestras de agua en el Centro de Metepec ya que no cuenta con zonas industriales (ver mapa 8)



● Zona de muestreo

Mapa 8. Zona de muestreo en Metepec.

Fuente- Elaboración propia mediante el mapa digital de México y el Plan de Desarrollo Municipal de Metepec 2016.

4. Resultados

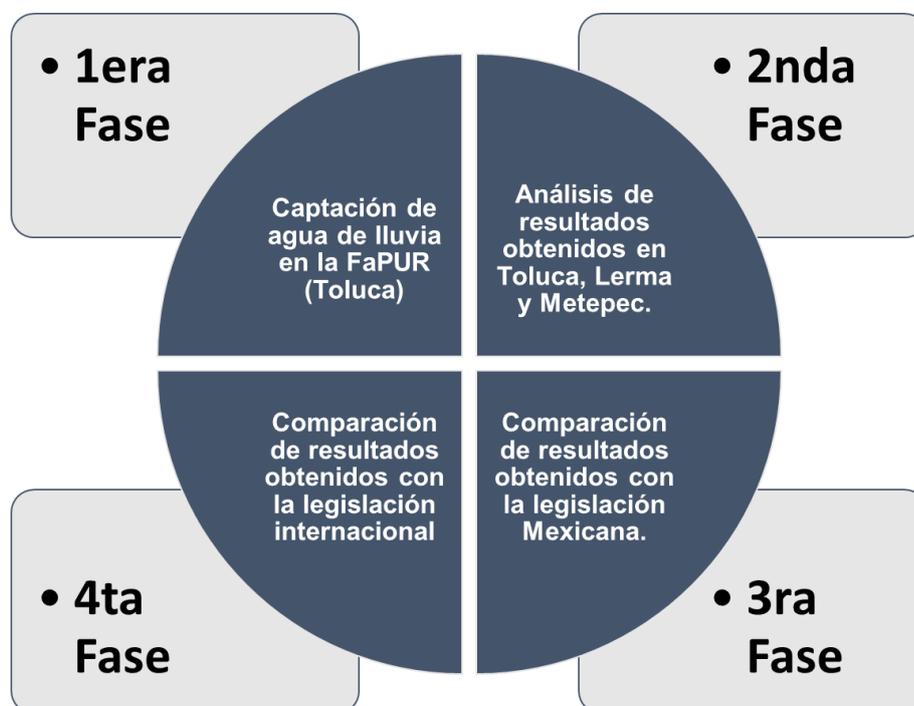
El análisis de resultados se divide en cuatro fases siendo la primera la captación de agua de lluvia en la FaPUR.

En ésta fase podemos observar los resultados obtenidos con respecto al Cromo hexavalente de las tres muestras: canaletas, cielo abierto y red municipal. En esta etapa se optó por extender la investigación a los municipios de Lerma y Metepec al encontrar trazas de Cr^{+6} en la muestra de agua a cielo abierto de la FaPUR.

La segunda fase describe los resultados obtenidos de las muestras procedentes de Toluca, Metepec y Lerma; de igual manera se realiza el análisis de dichos resultados con base en el movimiento de los vientos, inversiones térmicas y procesos propios de la atmósfera (*wash-out & rain-out*).

En la tercera fase se realiza una comparación de los resultados obtenidos con los límites permisibles de Cr^{+6} en las Normas Oficiales Mexicanas tanto de agua potable como de agua para riego agrícola.

Finalmente, en la fase cuatro se realiza una comparación con los resultados obtenidos y los límites permisibles de Cr^{+6} en la legislación internacional, tanto del agua potable como del agua para riego agrícola.



4.1. Facultad de Planeación Urbana y Regional

Como se ha mencionado al principio de la presente investigación, en un inicio se consideraba como única zona de recolección a la FaPUR, tomando en cuenta tres áreas de captación: la red de agua municipal de la cafetería, agua que corre por las canaletas y agua de lluvia a cielo abierto.

Periodo de recolección

Las muestras de agua tomadas en la FaPUR se recolectaron en otoño en el mes de octubre, dos meses después de que terminara la temporada de lluvias; por lo que se presentó el proceso “*wash-out*”, dificultando la fijación de metales pesados en el agua (Martínez R. G., 2007).

Aproximadamente se recolectó un litro de cada locación para realizar varias pruebas, teniendo en cuenta que el material de recolección (cubetas y micas) estuviera libre de impurezas, lo cual se logró al lavarlo con jabón de ionizado. Posterior a la captación, las muestras se refrigeraron en botes de plástico libres de impurezas sin tapa y se procedió a realizar el análisis.

Con la finalidad de identificar la muestra con mayor concentración de Cromo hexavalente, se llevó a cabo el análisis en la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales (ULCA), a través del colorímetro, lo cual permite analizar la concentración de Cromo hexavalente en las muestras. Se optó por llevar a cabo los análisis de muestras en esta unidad ya que está equipada con los instrumentos analíticos requeridos para investigaciones (cuantitativas) de ciencias ambientales.

Es necesario mencionar que anterior al análisis de las muestras se realizaron varias pruebas para corroborar que el equipo analítico a utilizar (colorímetro) arrojara resultados fidedignos.

4.1.2 Resultados de la Facultad de Planeación Urbana y Regional

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las muestras captadas en la FaPUR.

		Locación	pH Tiras reactivas	pH Potenciómetro	Cr ⁺⁶ mg/L
Octubre 2014	FaPUR	Canaletas	5	5.435	0.03
		Red Municipal (cafetería)	6	6.149	0
		Cielo abierto	6	5.865	0.03

Resultados de muestras captadas en la FaPUR (canaletas, red municipal, cielo abierto)

Se observa que la red municipal no presenta rastro de Cr⁺⁶, así mismo mantiene un pH de 6 lo cual se considera como ligeramente ácido. Por lo que la calidad del agua de la red municipal es aceptable con respecto a los parámetros analizados (Cr⁺⁶ y pH) (Gobierno de la República Mexicana, 2002).

Por otra parte, tanto el agua de las canaletas como el agua captada a cielo abierto presentan pH entre 5 y 6. De igual forma ambos arrojan la misma concentración de Cr⁺⁶ (0.03 mg/L), por lo que se asume que el metal pesado proviene del agua de lluvia y no de las canaletas de acero galvanizado.

A partir de lo anterior, se refuta la hipótesis número uno “El agua de lluvia que corre por las canaletas de acero galvanizado de la FaPUR es la portadora de Cromo hexavalente, ya que en algunos procesos para fabricar este material se utilizan aleaciones de Aluminio, Zinc, Cobalto y Cromo”; debido a que los componentes de las canaletas de acero galvanizado no se adhieren al agua de lluvia; los contaminantes que se encuentran en dicha agua provienen de otros procesos, para lo cual se optó por recolectar muestras de Toluca y los municipios aledaños: Lerma y Metepec.

4.2. Muestreo en los municipios de Toluca Lerma y Metepec

La elección del municipio de Lerma se debió a que cuenta con una zona industrial al igual que el municipio de Toluca, por lo que la contaminación atmosférica es mayor y hay probabilidad que el vapor de agua se mezcle con ella.

Con respecto al municipio de Metepec fue elegido ya que, si bien no cuenta con corredores industriales, los vientos de acuerdo a su movimiento pueden

acumular contaminantes en ésta zona (Martínez R. G., 2007), por lo que resulta la más afectada.

Los resultados obtenidos a partir de las 15 muestras que se tomaron en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec (5 muestras por municipio) en cuatro etapas correspondientes a tres estaciones del año: verano, primavera e invierno, se analizaron un día posterior a la recolección para evitar contaminación de muestras u alteraciones. Cabe mencionar que los metales pesados, al ser componentes inorgánicos, pueden estar refrigerados sin sufrir alteraciones por varios días (Martínez R. G., 2007). No obstante, se realizaron 4 pruebas más (pH, conductividad, cono de Inhoff, sólidos suspendidos) para identificar si existía algún patrón entre éstas y los resultados de Cromo hexavalente; por lo que era necesario analizar las muestras lo más pronto posible (ver imagen 11)

	Lugar	Cr+6 (mg/L)	Cono Inhooff	Temperatura (C°)	Solidos suspendidos (g)	pH tras	pH potenciómetro	Conductividad
Invierno	Metepec	0.07	0.2	16	0.0164	5	5.632	14.26
	Toluca	0.05	0.1	15	0.0156	6	5.342	16.87
	Toluca	0.03	0.2	16	0.0152	6	4.962	13.21
	Toluca	0.04	0.2	15	0.0143	5	5.743	12.34
Primavera	Lerma	0.04	0.1	15	0.0132	6	5.931	13.75
	Lerma	0.02	0.2	14	0.0158	6	5.815	27.9
	Metepec	0.04	0.3	12	0.0191	6	6.058	16.2
	Metepec	0.01	0.1	13	0.0181	6	4.928	12.1
	Toluca	0.04	0.1	19	0.0137	5	4.837	17.53
	Toluca	0.02	0.1	15	0.0151	5	5.737	12.58
Primavera	Metepec	0.05	0	14	0.0175	5	4.291	11.56
	Metepec	0.02	0.1	15	0.0159	5	5.736	11.87
Verano	Lerma	0.03	0.1	14	0.0123	5	5.328	14.53
	Lerma	0.05	0.1	15	0.0142	6	5.792	12.38
	Lerma	0.02	0.1	15	0.0146	6	6.832	16.43

Imagen 11. Tabla de resultados del muestreo en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec
Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos mediante cono Inhooff

Con respecto a los resultados obtenidos mediante el cono Inhooff (ver imagen 12), no se encontró alguna variación significativa. Los resultados oscilan entre 0.1 y 0.3 mg/L, siendo el municipio de Metepec el que presenta el mayor valor (0.3 mg/L).

Los resultados de este parámetro indican que el agua de lluvia captada en los tres municipios no presenta una gran cantidad de sólidos sedimentados. Sin embargo, las concentraciones más altas de sólidos sedimentados en las muestras se presentaron en la temporada de invierno, donde se presenta mayor número de inversiones térmicas (Organización Meteorológica Mundial, 2016), lo que impide la circulación de los contaminantes.

	Lugar	Cono Inhooff
Invierno	Metepec	0.2
	Toluca	0.1
	Toluca	0.2
	Toluca	0.2
	Lerma	0.1
Primavera	Lerma	0.2
	Metepec	0.3
	Metepec	0.1
	Toluca	0.1
	Toluca	0.1
Primavera	Metepec	0
	Metepec	0.1
Verano	Lerma	0.1
	Lerma	0.1
	Lerma	0.1

Imagen 12. Tabla de resultados – parámetro: cono Inhooff
Fuente: Elaboración propia

Resultados de temperatura

La temperatura de las muestras fue tomada en el momento de la recolección. Se presenta una variación considerable de las muestras ya que el promedio oscila entre 12 y 16 °C, sin embargo se obtuvo un resultado de 19°C en el municipio

de Toluca. Dicho municipio presentó los resultados con mayor elevación de temperatura (ver imagen 13).

	Lugar	Temperatura (C°)
Invierno	Metepec	16
	Toluca	15
	Toluca	16
	Toluca	15
	Lerma	15
Primavera	Lerma	14
	Metepec	12
	Metepec	13
	Toluca	19
	Toluca	15
Primavera	Metepec	14
	Metepec	15
Verano	Lerma	14
	Lerma	15
	Lerma	15

Imagen 13. Tabla de resultados- parámetro: temperatura
Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos de los sólidos suspendidos

El siguiente parámetro que se consideró son sólidos suspendidos (ver imagen 14), que para fines de esta investigación resultan importantes, debido a que proporciona un escenario sobre la contaminación atmosférica, es decir a mayor concentración de sólidos suspendidos, mayor contaminación atmosférica existe, la razón es que el agua de lluvia atrapa estas partículas en el aire y las arrastra hasta la superficie.

Los resultados del análisis de las 15 muestras arrojan que los gramos de sólidos suspendidos oscilan entre 0.0123 y 0.0191. EL municipio de Metepec presenta la mayor concentración de sólidos suspendidos con un resultado máximo de 0.0191 g.

Por lo que se considera el municipio más afectado con respecto a este parámetro.

	Lugar	Sólidos suspendidos (g)
Invierno	Meteppec	0.0164
	Toluca	0.0156
	Toluca	0.0152
	Toluca	0.0143
	Lerma	0.0132
Primavera	Lerma	0.0158
	Meteppec	0.0191
	Meteppec	0.0181
	Toluca	0.0137
	Toluca	0.0151
Primavera	Meteppec	0.0175
	Meteppec	0.0159
Verano	Lerma	0.0123
	Lerma	0.0142
	Lerma	0.0146

Imagen 14. Tabla de resultados- parámetro: sólidos suspendidos
Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos de pH

El siguiente parámetro a analizar es el pH. EL agua dulce se caracteriza, entre otras cosas, por su ligera acidez, es decir que no es 100% neutra. Dado lo anterior fue necesario analizar el pH de cada muestra una vez recolectada (antes de la refrigeración).

El proceso se llevó a cabo en el momento de la recolección mediante dos instrumentos: las tiras reactivas y el potenciómetro. Los resultados de las 15 muestras oscilan entre 4.2 y 6.0. No obstante, se considera muy bajo el resultado de 4.2, mismo que pertenece a Meteppec (ver imagen 15).

El hallazgo anterior resulta preocupante ya que los metales pesados suelen fijarse con mayor facilidad al agua que presenta condiciones ácidas (Ayora, 2008).

	Lugar	pH tiras	pH potenciómetro
Invierno	Metepec	5	5.632
	Toluca	6	5.342
	Toluca	6	4.962
	Toluca	5	5.743
	Lerma	6	5.931
Primavera	Lerma	6	5.815
	Metepec	6	6.058
	Metepec	6	4.928
	Toluca	5	4.837
	Toluca	5	5.737
Primavera	Metepec	5	4.291
	Metepec	5	5.736
Verano	Lerma	5	5.328
	Lerma	6	5.792
	Lerma	6	6.832

Imagen 15- Tabla de resultados – parámetro: pH.
Fuente- Elaboración propia

Resultados obtenidos mediante conductividad

Finalmente se tomó la conductividad de cada muestra con ayuda del potenciómetro en un periodo menor a 24 horas después de la recolección. Éste parámetro permite saber cuántos sólidos disueltos están presentes en las muestras.

Se encontraron ciertas variaciones, ya que el resultado más alto fue de 27.9 S/m y el menor de 11.5 S/m (ver imagen 16). Cabe mencionar que los municipios con mayor conductividad den el agua de lluvia fueron Toluca y Lerma.

	Lugar	Conductividad S/m
Invierno	Metepec	14.26
	Toluca	16.87
	Toluca	13.21
	Toluca	12.34
	Lerma	13.75
Primavera	Lerma	27.9
	Metepec	16.2
	Metepec	12.1
	Toluca	17.53
	Toluca	12.58
Primavera	Metepec	11.56
	Metepec	11.87
Verano	Lerma	14.53
	Lerma	12.38
	Lerma	16.43

Imagen 16- Tabla de resultados – parámetro: conductividad.
Fuente- Elaboración propia

Resultados obtenidos de Cromo hexavalente

Las concentraciones más elevadas de Cr^{+6} se obtuvieron durante el invierno (primera etapa), al oscilar entre 0.04 y 0.07 mg/L (ver imagen 17); mientras que las concentraciones menores se obtuvieron a finales del invierno y durante la primavera (segunda y tercera etapa), al oscilar entre 0.01 y 0.05 mg/L (ver imagen 17).

	Lugar	Resultados Cr +6 mg/L
Invierno	Metepec	0.07
	Toluca	0.05
	Toluca	0.03
	Toluca	0.04
	Lerma	0.04
Invierno-Primavera	Lerma	0.02
	Metepec	0.04
	Metepec	0.01
	Toluca	0.04
	Toluca	0.02
Primavera	Metepec	0.05
	Metepec	0.02
Primavera-Verano	Lerma	0.03
	Lerma	0.05
	Lerma	0.02

Imagen 17- Tabla de resultados de evaluación de Cromo hexavalente en el agua de lluvia.

Fuente- Elaboración propia

4.3. Análisis de resultados de Cromo hexavalente en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec

Las variaciones entre la concentración de Cr^{+6} se explican, en primer lugar a partir de las inversiones térmicas (ver imagen 18) y a través de los procesos “*wash-out*” y “*rain-out*”.

En invierno, cuando las inversiones térmicas ocurren con frecuencia a causa de las bajas temperaturas, el aire frío impide la circulación y dispersión de los contaminantes emitidos por diversas fuentes (automóviles, industrias, etc.), éstos permanecen más tiempo en un lugar determinado (Becerril, 2009), que en este caso se trata de las zonas centro de los municipios de Metepec, Lerma y Toluca, por lo que existen mayores posibilidades de que el vapor de agua, que forma las nubes, interactúe por más tiempo con los contaminantes en estado gaseoso y se mezcle con ellos.

Si bien, un proceso que evita concentraciones de Cr^{+6} mayores en el agua de lluvia en esta temporada (invierno) es el proceso “*wash-out*”.

Las lluvias en la zona centro del país comienzan en Junio y terminan a finales de Agosto, Rocío Martínez, en su tesis “Determinación de metales pesados en la precipitación pluvial de una zona urbana (Ciudad de México) y de una zona rural (Rancho Viejo, Edo. Méx.)”, argumenta que en el proceso “*wash-out*”, producido a finales de temporadas de lluvia, la acidez disminuye dificultando la fijación de metales pesados en estado gaseoso con el vapor de agua.

Lo que significa que a pesar de tener concentraciones altas de Cr^{+6} en el agua de lluvia en la estación de invierno, estas pudieran ser aún mayores si las condiciones atmosféricas no se desacidificaran.

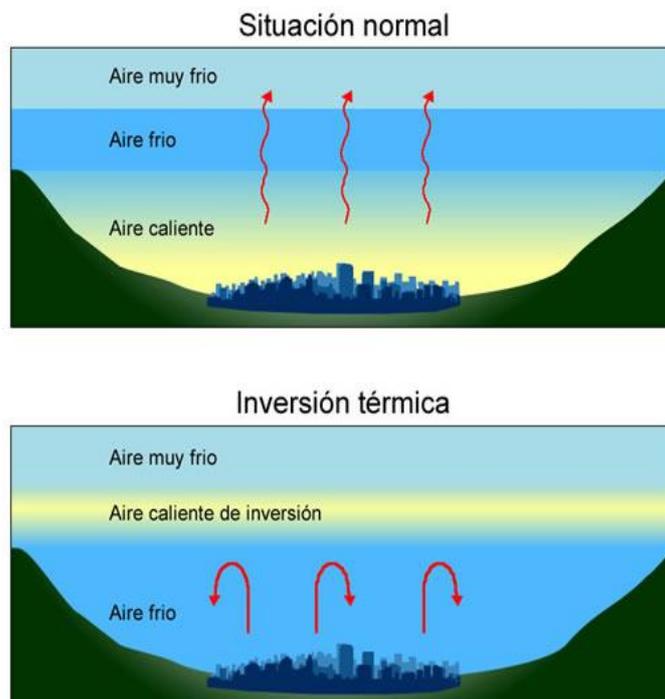


Imagen 18- Inversión térmica
Fuente- CARREG, 2012. Inversiones térmicas.
[En línea] Disponible en: carregharuizmafer.blogspot.com
[Último acceso: Mayo 2016].

Por el contrario, al no generarse inversiones térmicas en primavera y verano de la magnitud de la estación de invierno, los contaminantes atmosféricos, con ayuda de los vientos, se dispersan; no obstante el proceso “*rain-out*”, que surge a principio de temporada de lluvias (Junio), favorece la fijación de metales pesados en estado gaseoso con el vapor de agua.

De esta manera se explica que las muestras correspondientes a la segunda y tercera etapa (primavera y verano), a pesar de presentar las concentraciones menores de Cr^{+6} , contengan partículas significativas de este metal pesado.

El municipio de Metepec posee la concentración más alta de Cr^{+6} (0.07 mg/L), y de igual forma posee la concentración menor (0.01 mg/L); sin embargo es el municipio que en promedio contiene más Cr^{+6} en el agua de lluvia, seguido de Toluca y finalmente Lerma.

4.4. Análisis de la dinámica de los vientos en relación con los resultados obtenidos de Cromo hexavalente en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec

Como se mencionaba anteriormente, Toluca y Lerma comparten un corredor industrial, a partir del cual se emiten varios contaminantes de industrias textiles, cementeras, automotrices, electrónicas, etc., que contribuyen a la mala calidad del aire y no solo eso, también a la contaminación de agua de lluvia al generarse una interacción entre contaminantes gaseosos y vapor de agua (Martínez R. G., 2007).

No obstante, Toluca y Lerma poseen menor porcentaje de concentración de Cr+6 en el agua de lluvia en comparación con el municipio de Metepec. Lo anterior se explica a partir de la dinámica de vientos (ver imagen 19).



Imagen 19- Dinámica de vientos

Fuente- Elaboración propia con base en el Plan de Desarrollo del municipio de Toluca y el Mapa Digital de México.

Como se observa en la imagen 19, los vientos circulan con dirección Suroeste a Noreste; por lo que los contaminantes procedentes del municipio de Toluca impactan de manera negativa en la zona Norte del municipio y la zona Noreste del municipio de Metepec, así como la zona Suroeste del municipio de Lerma (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015).

No obstante, debido a la ubicación de las industrias en los municipios de Toluca y Lerma (Norte y Sur respectivamente), y a la dinámica de vientos, se atribuyen las concentraciones de Cromo hexavalente no solo a las emisiones industriales, sino también a la combustión de combustible, que como menciona Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldeth, Debora; Velasquez, Harvi, (2008) y (Martínez R. G., 2007), es un factor que contamina el agua de lluvia con diversos agentes contaminantes, entre ellos los metales pesados.

Ésta afirmación se fundamenta en la creciente población que alberga el municipio de Toluca (489,300 habitantes en 2010) (H. Ayuntamiento de Toluca , 2015) y el parque vehicular, el cual se estima que alcanza las 500,553 unidades (2009) según el Instituto Nacional de Ecología (Instituto Nacional de Ecología, 2009); por lo que se estima que las emisiones vehiculares contribuyen a la contaminación del agua de lluvia en gran medida en la zona Norte de Toluca y Metepec.

4.5. Comparación de legislación nacional e internacional en materia de límites permisibles de Cromo hexavalente en agua potable y agua para riego agrícola.

Para concluir si el agua pluvial recolectada cumplía los estándares de calidad, fue necesario realizar una comparación de los resultados obtenidos con las concentraciones permisibles que estipula la legislación tanto internacional como nacional.

Las comparaciones se realizaron con estándares establecidos para el agua potable y el agua de riego, provenientes de la Organización Mundial de la Salud, Honduras, Venezuela, Colombia y México.

Tanto a nivel nacional como internacional, las concentraciones de metales pesados contemplan, entre otros, al Cromo total, que es la suma del Cromo trivalente (Cr^{+3}) y el Cromo hexavalente (Cr^{+6}). No se tienen estándares máximos permisibles de Cromo hexavalente con excepción de Honduras y Colombia. Por lo que se optó para esta investigación, comparar los resultados obtenidos de Cr^{+6} con las concentraciones máximas de Cromo total que marca la legislación, haciendo notar que para cumplir con lo establecido en las normas, el Cr^{+6} de las muestras recolectadas no tendría que exceder las concentraciones permisibles de Cromo total ya que éste último, como se menciona anteriormente, es la suma de dos especies diversas de Cromo (Cr^{+3} y Cr^{+6}).

Existe una incongruencia entre los límites permisibles de Cromo de diversos países y la Organización Mundial de Salud, es decir que no se tiene un estándar fijo con respecto a la concentración de Cromo total y mucho menos de Cromo hexavalente, ya que este último no se contempla dentro de los estándares permisibles.

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con las Normas internacionales para agua potable

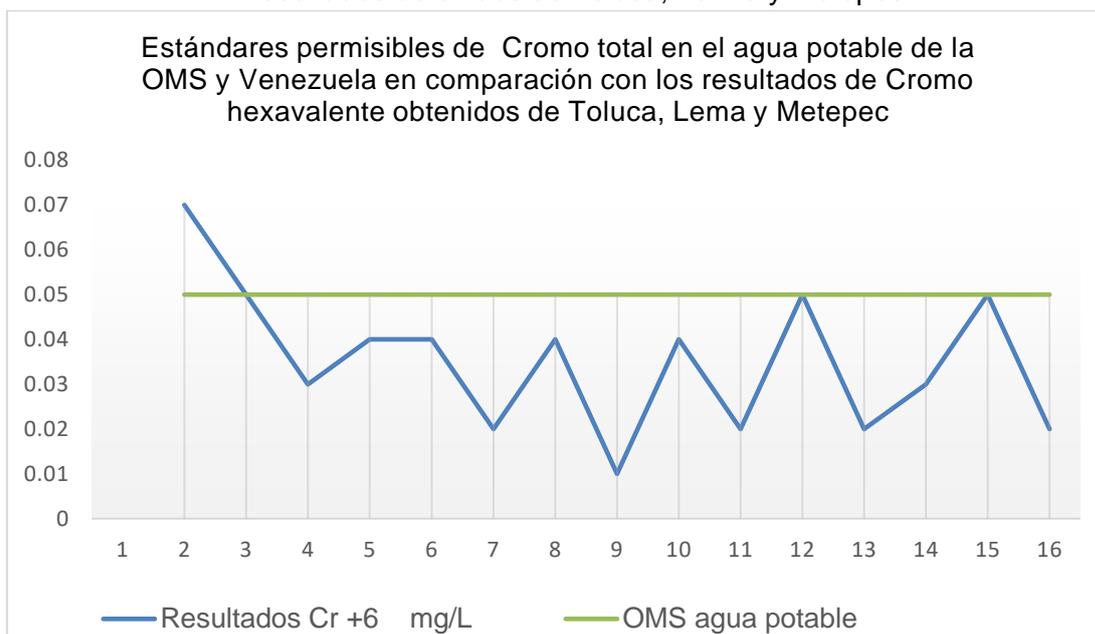
Se presenta a continuación la comparación de los resultados obtenidos y los estándares permisibles internacionales para agua potable.

Comparación de resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma Metepec con el límite permisible de Cromo total en agua potable de la OMS y Venezuela

Resultados Cr +6 mg/L	Límite permisible de Cromo total en agua potable para la OMS y Venezuela (mg/L).
0.07	0.05
0.05	
0.03	
0.04	
0.04	
0.02	
0.04	
0.01	
0.04	
0.02	
0.05	
0.02	
0.03	
0.05	
0.02	

Tabla 11- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cromo total en agua potable de la OMS y Venezuela.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de la OMS y Venezuela y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 1- Estándares permisibles de Cromo total en el agua potable de la OMS y Venezuela, comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.

Fuente- Elaboración propia

La Organización Mundial de la Salud, establece como límite máximo permisible de Cromo total 0.05 mg/L en el agua potable (ver tabla 11); dicho estándar es tomado como base para establecer estándares de otros países como es el caso

de Venezuela. Se observa en la gráfica 1 que las concentraciones **de Cromo hexavalente** están por debajo de la norma, sin embargo, hay que tomar en cuenta que solo se está comparando una de las “especies” de Cromo que conforman el Cr total, es decir que los resultados que presentan 0.05 mg/L de Cromo hexavalente o mayor a esta concentración (de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec), están fuera de la norma (ver gráfica 1).

Comparación de resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con el límite permisible de Cromo hexavalente en agua potable de Honduras

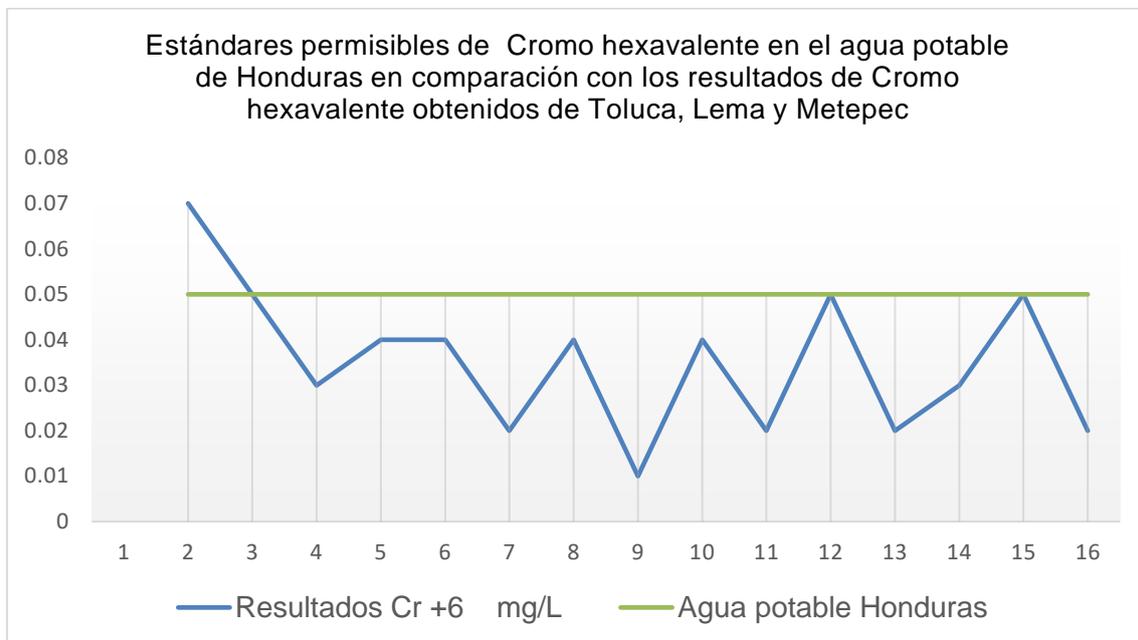
Como se mencionaba anteriormente, muchos países utilizan los estándares de la OMS como base para establecer sus propias normas; no obstante Honduras y Colombia poseen límites máximos permisibles más estrictos que no se limitan solo al Cromo total, sino que también contemplan al Cromo hexavalente.

En el caso de Honduras, se establece como límite máximo permisible de **Cromo hexavalente** 0.05 mg/L (ver tabla 12) en el agua potable; por lo que la mayoría de los resultados obtenidos en esta investigación cumplen con la norma, a excepción del parámetro perteneciente Metepec (0.07 mg/L) (ver grafica 2).

Resultados Cr +6 mg/L	Límite máximo permisible de Cromo hexavalente en agua potable en Honduras (mg/L)
0.07	0.05
0.05	
0.03	
0.04	
0.04	
0.02	
0.04	
0.01	
0.04	
0.02	
0.05	
0.02	
0.03	
0.05	
0.02	

Tabla 12- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cr ⁺⁶ de Honduras en agua potable.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de Honduras y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 2- Estándares permisibles de Cromo hexavalente en el agua potable Honduras, comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.
Fuente- Elaboración propia

Comparación de resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con el límite permisible de Cromo hexavalente en agua potable de Colombia

Colombia establece como estándar permisible de Cromo hexavalente en agua potable 0.01 mg/L, límite que se considera aún más estricto que los propuestos por la OMS (0.05 mg/L) (ver tabla 13).

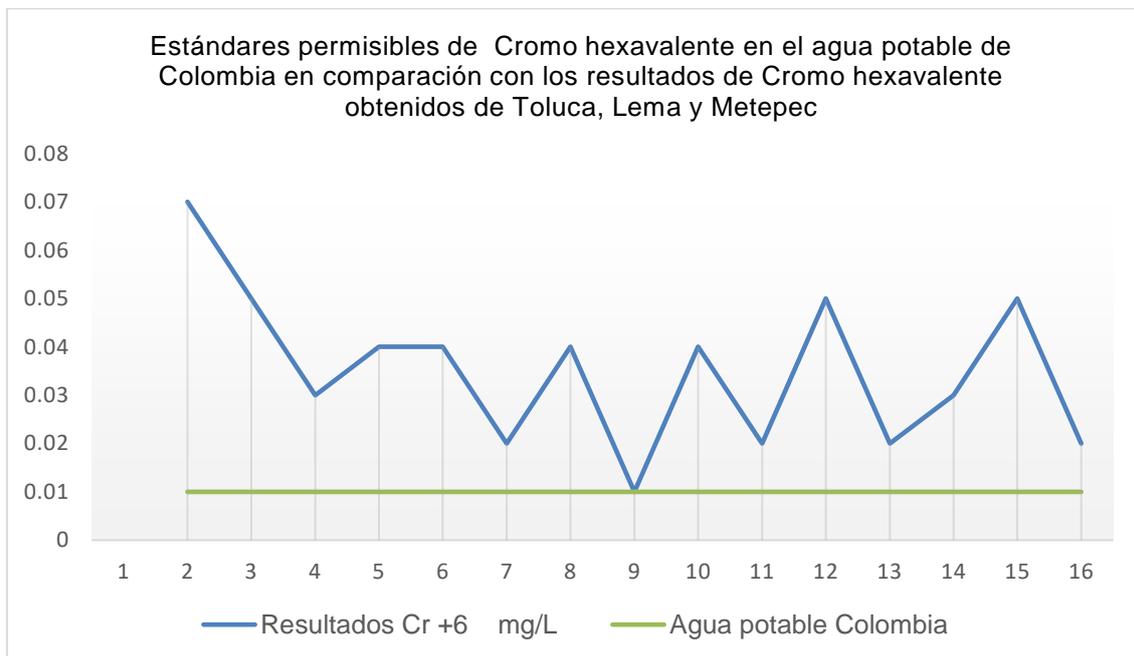
Como se observa en la gráfica 3, todos los resultados procedentes de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec están fuera de la norma de agua potable de Colombia.

Éste estándar origina una incongruencia entre los límites permisibles de Cromo hexavalente y Cromo total que se manejan a nivel global; ya que toda la población mundial es vulnerable por igual a esta sustancia toxica, por lo que debería existir un estándar único.

Resultados Cr +6 mg/L	Límite máximo permisible de Cromo hexavalente en agua potable en Colombia (mg/L)
0.07	0.01
0.05	
0.03	
0.04	
0.04	
0.02	
0.04	
0.01	
0.04	
0.02	
0.05	
0.02	
0.03	
0.05	
0.02	

Tabla 13- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cr ⁺⁶ de Colombia en agua potable.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de Colombia y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 3- Estándares permisibles de Cromo hexavalente en el agua potable de Colombia, comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.

Fuente- Elaboración propia

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con la Norma nacional Mexicana de agua potable.

Se presenta a continuación la comparación de los resultados obtenidos y los estándares permisibles nacionales para agua potable.

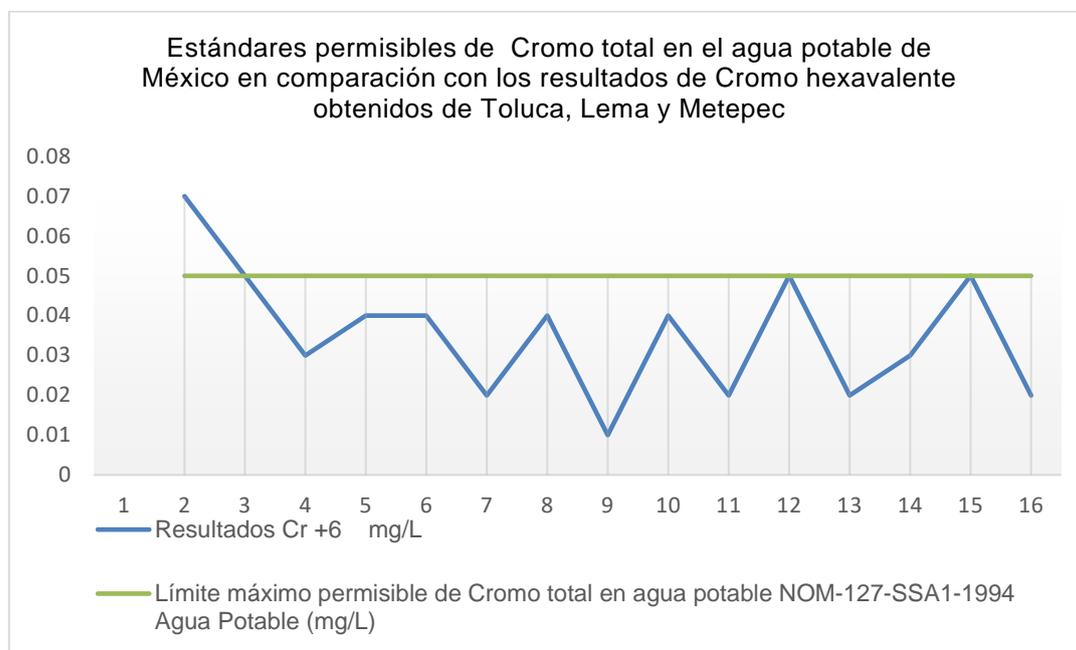
Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con la NOM-127-SSA1-1994 Agua Potable.

La legislación nacional Mexicana no cuenta con límites permisibles de Cromo hexavalente en el agua potable, sin embargo se cuenta con límites permisibles de Cromo total (ver tabla 14) en el agua destinada al consumo humano a través de la NOM-127-SSA1-1994; la cual estipula que el límite permisible de Cromo total en el agua potable es de 0.05 mg/L, por lo que todos los resultados obtenidos en los tres municipios sujetos a análisis (Toluca, Lerma y Metepec) cumplen con dicha norma con excepción de resultado perteneciente a Metepec de 0.07 mg/L de Cromo hexavalente (ver gráfica 4).

Lugar	Resultados Cr +6 mg/L	Límite máximo permisible de Cromo total en agua potable NOM-127-SSA1-1994 Agua Potable (mg/L)
Metepec	0.07	0.05
Toluca	0.05	
Toluca	0.03	
Toluca	0.04	
Lerma	0.04	
Lerma	0.02	
Metepec	0.04	
Metepec	0.01	
Toluca	0.04	
Toluca	0.02	
Metepec	0.05	
Metepec	0.02	
Lerma	0.03	
Lerma	0.05	
Lerma	0.02	

Tabla 14- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cromo total de la legislación Mexicana de en agua potable.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación mexicana y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 4- Estándares permisibles de Cromo total en el agua potable de México, comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.
Fuente- Elaboración propia

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con las Normas internacionales para agua para riego agrícola

Con respecto a los estándares permisibles de Cromo destinados para el agua de riego, se tomó en consideración a la Organización Mundial de la Salud y dos países: Honduras y Venezuela, ya que los estándares que poseen son más estrictos que los de la OMS. Es necesario mencionar que ninguno de ellos contempla estándares de Cromo hexavalente sino de Cromo total; no obstante, las muestras recolectadas de los tres municipios sujetos a investigación deberán ser menores a los límites permisibles de Cromo total estipulados por la legislación, recordando que el Cromo total es la suma del Cromo hexavalente y Cromo trivalente.

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con los límites permisibles de Cromo total de la OMS para agua de riego agrícola

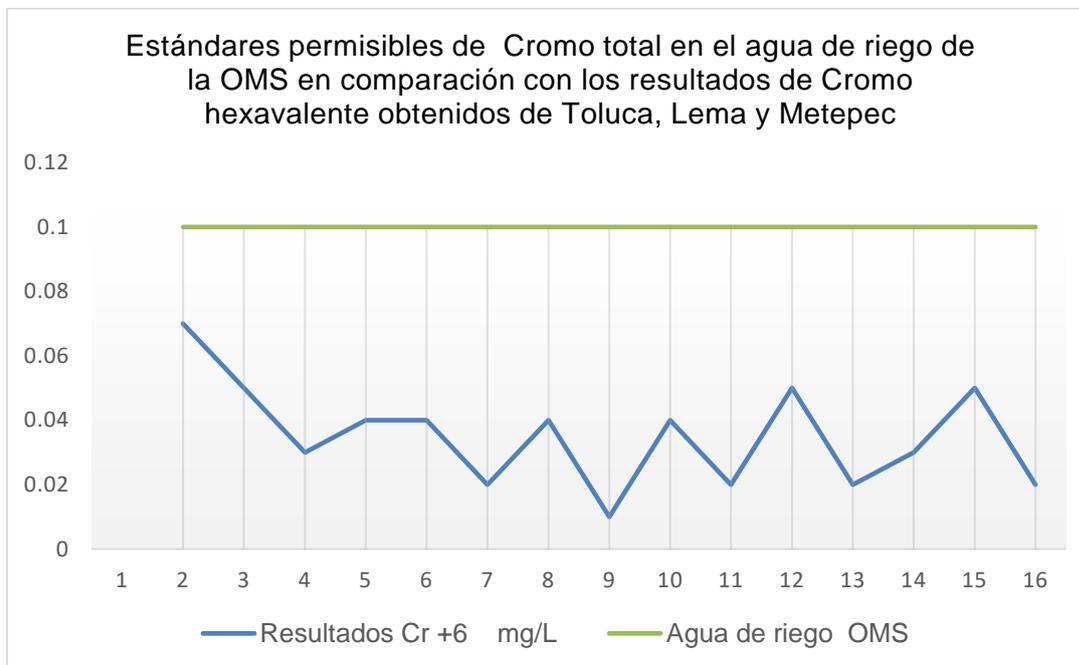
Se muestra en la tabla 15 la comparación de los resultados obtenidos de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con el límite permisible de Cromo total de la OMS (0.1 mg/L).

Todos los resultados procedentes de los tres municipios se encuentran por debajo del límite estipulado por la OMS (ver gráfica 5), sin embargo el Cromo resulta una especie bioacumulable (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008), por lo que si se permite 0.1 mg/L en el agua de riego para cultivos agrícolas y forrajes, el consumidor final podría acumular porcentajes significativos del metal pesado en su organismo (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldoth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

Lugar	Resultados Cr +6 mg/L	Límites permisibles de Cromo total en agua de riego de la OMS (mg/L)
Metepec	0.07	0.1
Toluca	0.05	
Toluca	0.03	
Toluca	0.04	
Lerma	0.04	
Lerma	0.02	
Metepec	0.04	
Metepec	0.01	
Toluca	0.04	
Toluca	0.02	
Metepec	0.05	
Metepec	0.02	
Lerma	0.03	
Lerma	0.05	
Lerma	0.02	

Tabla 15- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cromo total de la OMS en agua de riego.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de la OMS y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec

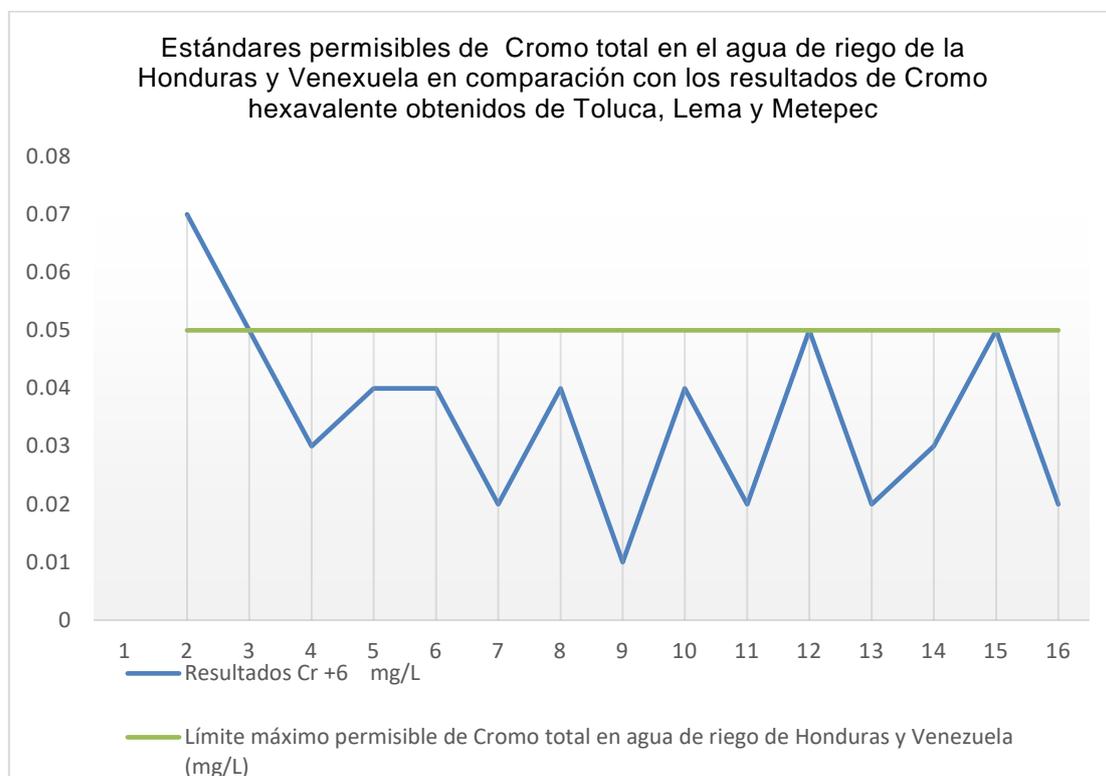


Grafica 5- Estándares permisibles de Cromo total en el agua de riego de la OMS comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.
Fuente- Elaboración propia

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con los límites permisibles de Cromo total de Honduras y Venezuela para agua de riego agrícola

Lugar	Resultados Cr +6 mg/L	Límites permisibles de Cromo total en agua de riego en Honduras y Venezuela (mg/L)
Metepec	0.07	0.05
Toluca	0.05	
Toluca	0.03	
Toluca	0.04	
Lerma	0.04	
Lerma	0.02	
Metepec	0.04	
Metepec	0.01	
Toluca	0.04	
Toluca	0.02	
Metepec	0.05	
Metepec	0.02	
Lerma	0.03	
Lerma	0.05	
Lerma	0.02	

Tabla 16- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cromo total de Honduras y Venezuela en agua de riego.
Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de Honduras y Venezuela y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 6- Estándares permisibles de Cromo total en el agua de riego de Honduras y Venezuela comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.
Fuente- Elaboración propia

Tanto Honduras como Venezuela estipulan límites permisibles de Cromo total más estrictos en comparación con los límites permisibles de la OMS, por lo que nuevamente surge controversia ya que todos los seres humanos son vulnerables por igual al metal pesado en cuestión.

Con respecto a la comparación de los límites permisibles de cromo total de Honduras y Venezuela con los resultados de Cromo hexavalente obtenidos en Toluca, Lerma y Metepec, éstos últimos se encuentran dentro de los límites permisibles de los países antes mencionados (ver tabla 16) con excepción de Metepec (0.07 mg/L) (ver gráfica 6)

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con la norma nacional Mexicana para agua de riego agrícola

Se aborda la Norma Oficial Mexicana correspondiente a los límites permisibles de Cromo total en el agua para riego agrícola con la finalidad de generar una comparación.

Comparación de los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec con los límites permisibles de Cromo total de la norma NOM-CCA/032-ECOL de México para agua de riego agrícola

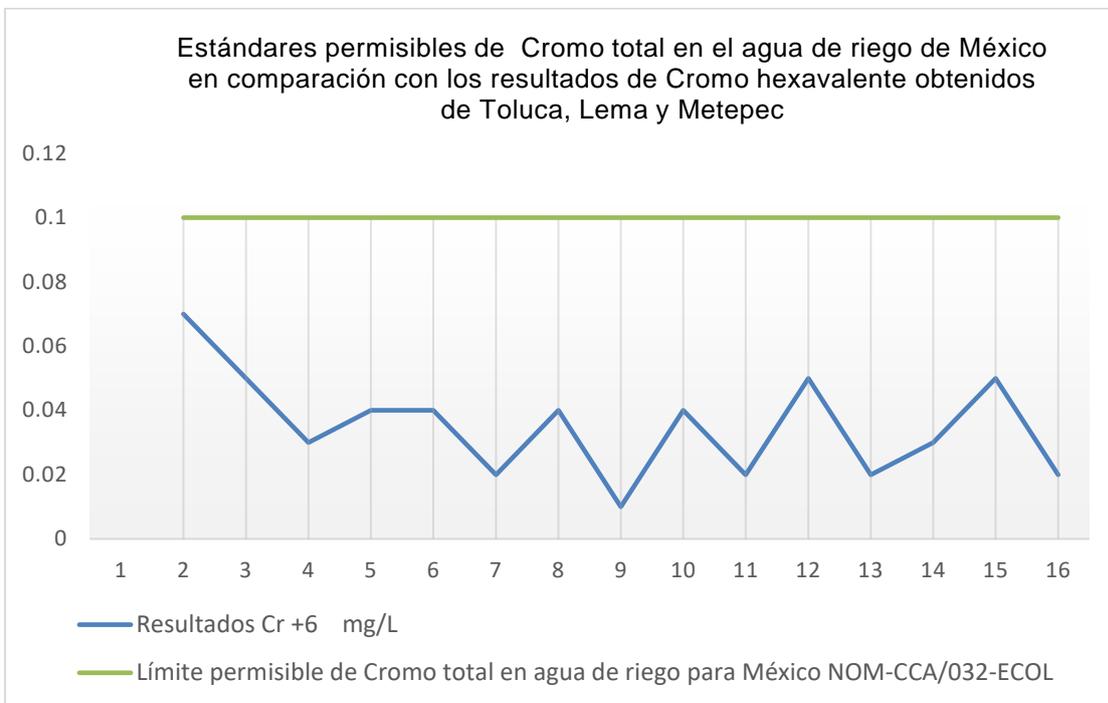
La legislación mexicana no contempla el Cromo hexavalente como contaminante para agua de riego; no obstante, en la NOM-CCA-ECOL considera límites máximos permisibles de Cromo total en la misma concentración que la OMS (0.1 mg/L), por lo que ningún resultado obtenido de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec sobrepasa los límites estipulados por dicha norma.

El 56% de la superficie mexicana pertenece al sector agrícola y 33.1 de éste territorio utiliza agua de lluvia para riego de cultivos y forraje (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016); por lo que al permitir concentraciones de Cromo tan altas y desfasadas con otros países más estrictos, el consumidor final corre el riesgo que acumular concentraciones de Cromo significativas en el organismo (Machado, Anali; Garcia, Neyma; Garcia, Cesar; Acosta, Lorena; Cordova, Alberto; Linares, María; Giraldeth, Debora; Velasquez, Harvi, 2008).

Resultados Cr +6 mg/L	Límite permisible de Cromo total en agua de riego para México NOM-CCA/032-ECOL
0.07	0.1
0.05	
0.03	
0.04	
0.04	
0.02	
0.04	
0.01	
0.04	
0.02	
0.05	
0.02	
0.03	
0.05	
0.02	

Tabla 17- Comparación de resultados obtenidos de Cromo hexavalente con el límite permisible de Cromo total de México en agua de riego.

Fuente- Elaboración propia con base en la legislación de México y los resultados obtenidos de Toluca, Lerma y Metepec



Grafica 7- Estándares permisibles de Cromo total en el agua de riego de México comparados con los resultados obtenidos de Metepec, Lerma y Toluca.
 Fuente- Elaboración propia

Conclusiones

Se concluye que la zona de estudio en cuestión, posee concentraciones de Cromo hexavalente mayores a las permitidas en el agua de lluvia a causa de las emisiones industriales, las cuales se dispersan hacia el Municipio de Metepec, principalmente lo que genera vulnerabilidad en los sistemas de captación de agua pluvial y se limitan los usos que pueden atribuirse a esta tecnología como es la ingesta.

Se recomienda instalar sistemas de captación pluvial integrando un tratamiento pasivo para eliminar cualquier rastro de Cromo hexavalente, en caso de que el agua sea utilizada para aseo personal e ingesta.

Por otra parte, se deduce que los cultivos aledaños a la zona del municipio de Metepec, absorben cierta cantidad de Cromo hexavalente mediante el riego de agua de lluvia, provocando que este metal se bio-acumule en los vegetales y llegue al organismo humano.

Finalmente, se hace notar la incoherencia internacional u nacional con respecto a los límites permisibles de Cromo que varían de país a país. Sin mencionar que el Cromo hexavalente no es tomado en cuenta por la mayoría de las naciones.

A partir de los estudios realizados en la FaPUR, se demostró que el Cromo hexavalente encontrado en el agua no provenía de las canaletas galvanizadas, sino que estaba inmerso en el agua de lluvia como resultado de la contaminación atmosférica, por lo que se rechaza la hipótesis 1: El agua de lluvia que corre por las canaletas de acero galvanizado de la FaPUR es la portadora de Cr^{+6} , ya que en algunos procesos para fabricar éste material se utilizan aleaciones de Aluminio (Al), Zinc (Zn), Cobalto (Co) y Cromo (Cr); y se acepta la hipótesis 2: Debido a que los Municipios de Toluca y Lerma albergan parques industriales, las emisiones de dichas zonas se mezclan en el proceso de condensación, lo cual permite que el agua de lluvia sea contaminada con Cromo hexavalente y precipite en los municipios emisores de la contaminación (Toluca y Lerma) y municipios aledaños como Metepec.

El objetivo general se cumplió ya que se llevó a cabo el análisis de agua de lluvia en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec en el periodo 2014 a 2015 identificando concentraciones de Cromo hexavalente que oscilan entre 0.01 mg/L y 0.07 mg/L, lo cual genera un foco rojo ya que éste metal pesado es un

agente oxidante, peligroso tanto para la salud humana como para los ecosistemas.

Los corredores industriales pertenecientes a los municipios de Toluca y Lerma aunado con la combustión vehicular, podrían ser los responsables de la contaminación con Cromo hexavalente en la atmósfera de la zona basado en la dinámica de vientos y por ende tendrían responsabilidad en los niveles de contaminación de agua de lluvia.

La dinámica de vientos en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca arrastra los contaminantes atmosféricos (entre ellos el Cromo hexavalente), procedentes del parque vehicular y las industrias, haciendo vulnerable a la población del Norte de Toluca y Noroeste del municipio de Metepec.

Con respecto a la legislación nacional, México no contempla concentraciones de Cromo hexavalente en el agua potable ni en agua de riego, sin embargo toma en cuenta límites permisibles de Cromo total (0.05 mg/L para agua potable y 0.1 mg/L para agua de riego agrícola), mismos que se compararon con los resultados obtenidos en los municipios mencionados teniendo solo un resultado fuera de norma (Metepec 0.07mg/L), pero siete resultados más quedaron en el límite de lo permisible con concentraciones de 0.05 mg/L y 0.04 mg/L, lo cual es alarmante ya que la comparación fue entre Cr^{+6} y Cromo total, donde éste último es el resultado de la suma del Cromo hexavalente y Cromo Trivalente.

Ningún organismo internacional tiene un estándar que estipule los límites permisibles de Cromo hexavalente, solo de Cromo total, por lo que los países pueden establecer su propio límite permisible de dicho metal pesado, generando una falta de concordancia, impidiendo un control adecuado de éste tóxico poniendo en peligro a los seres vivos.

Tanto Colombia como Honduras, sí consideran al Cromo hexavalente dentro de los límites permisibles para agua potable y agua de riego con concentraciones de 0.01 mg/L y 0.05 mg/L respectivamente; muy bajas en comparación con la OMS y México que solo toman en cuenta Cromo total en concentraciones de 0.05 mg/L y 0.1 mg/L. Por lo que los resultados obtenidos en los municipios de Toluca, Lerma y Metepec sobrepasan los límites estipulados por Colombia y Honduras, generando desconcierto ya que todos los organismos son vulnerables

a éste metal pesado, por lo que debería existir un estándar global que tome en cuenta al Cr^{+6} .

Anexos

Anexo 1.- Comparación entre la OMS y la Unión europea con respecto a los límites máximos permisibles de contaminantes (cationes) en el agua potable.

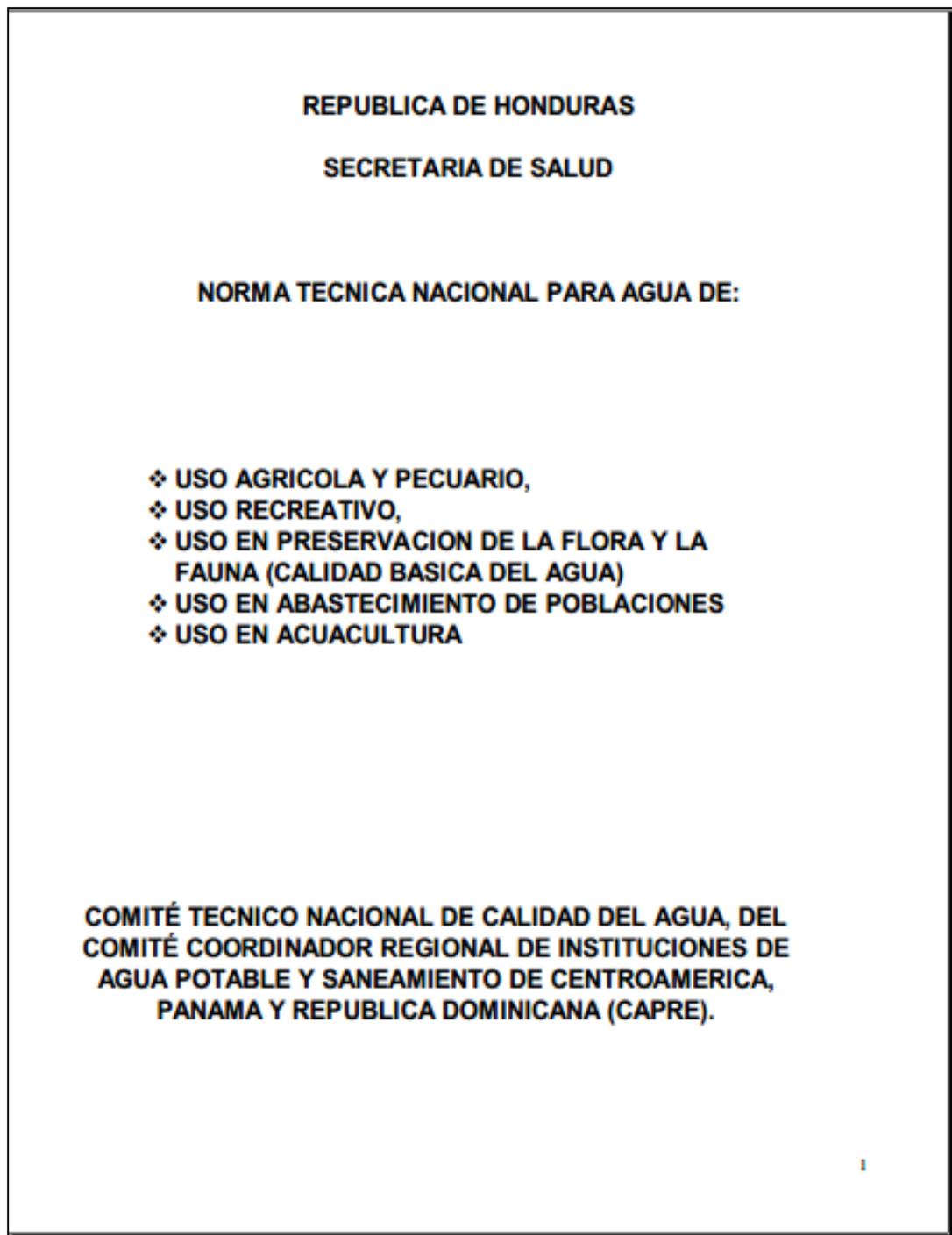
Cationes	Estándares de la OMS (1993)	Estándares Union Europea (1998)
(iones positivos)		
Aluminio (Al)	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Amonio (NH ₄)	No hay directriz	0,50 mg/l
Antimonio (Sb)	0,005 mg/l	0,005 mg/l
Arsénico (As)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Bario (Ba)	0,3 mg/l	No se menciona
Berilio (Be)	No hay directriz	No se menciona
Boro (B)	0,3 mg/l	0,001 mg/l
Bromato (Br)	No se menciona	0,01 mg/l
Cadmio (Cd)	0,003 mg/l	0,005 mg/l
Cromo (Cr)	0,05 mg/l	0,05 mg/l
Cobre (Cu)	2 mg/l	2,0 mg/l
Hierro (Fe)	No hay directriz ⁽⁶⁾	0,2
Plomo (Pb)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Manganeso (Mn)	0,5 mg/l	0,05 mg/l
Mercurio (Hg)	0,001 mg/l	0,001 mg/l
Molibdeno (Mo)	0,07 mg/l	No se menciona
Níquel (Ni)	0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitrógeno total (N total)	50 mg/l	No se menciona
Selenio (Se)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Plata (Ag)	No hay directriz	No se menciona
Sodio (Na)	200 mg/l	200 mg/l
Estaño (Sn) inorgánico	No hay directriz	No se menciona
Uranio (U)	1,4 mg/l	No se menciona
Zinc (Zn)	3 mg/l	No se menciona

Anexo 1- Comparación entre la OMS y la Unión europea con respecto a los límites máximos permisibles de contaminantes (cationes) en el agua potable

Fuente- Lenntech, 2016. *Lenntech*. [En línea]

Disponibile en: <http://www.lenntech.es/tabla-comparativa-estandares-oms-ue.htm>

Anexo 2- Carátula de Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, para preservación de flora y fauna. Abastecimiento y acuicultura



Anexo 2-Caratula de Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola, pecuario, recreativo, para preservación de flora y fauna. Abastecimiento y acuicultura

Fuente- Republica de Honduras, Secretaria de Salud , 2001. *CESCCOSERNA*. [En línea]

<http://cesccoserma.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>

CAPITULO V	
CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE ACUERDO A SU USO	
Artículo 7.	<p>De conformidad a lo establecido en la legislación vigente para regular el uso del agua se establece la siguiente clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none">a.- Para CONSUMO HUMANOb.- Para USO DOMESTICOc.- Para ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES (Agua destinada a la producción de agua potable)d.- Para USO AGRICOLA Y PECUARIOe.- Para USO EN ACUACULTURAf.- Para USO INDUSTRIALg.- Para PRESERVACION DE LA FLORA Y LA FAUNAh.- Para USO RECREATIVOi.- Para USO EN RIEGO DE AREAS VERDES Y ORNATOS <p>Exceptuando el inciso a, su enunciado no indica orden de prioridad.</p>
Artículo 8.	<p>Se entiende por USO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, su empleo en actividades tales como:</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato (incluye el hielo y el agua embotellada).❖ Fabricación o procesamiento de alimentos en general y especial los destinados a su comercialización y distribución.❖ Fabricación o procesamiento de medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares. <p>En todas las actividades detalladas anteriormente, el agua debe cumplir con las especificaciones de la Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable vigente.</p>
Artículo 9.	<p>Se entiende por AGUA DE USO DOMESTICO, su empleo en la satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como: Higiene personal y limpieza de alimentos, materiales o utensilios de cocina.</p> <p>En todas las actividades detalladas anteriormente el agua debe cumplir con las especificaciones de la Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable vigente.</p>
Artículo 10.	<p>Se entiende por AGUA DE USO PARA ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES aquella destinada a la producción de agua potable, la cual puede subdividirse en 2 categorías.</p> <p>Categoría A. Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser potabilizadas con la sola adición de desinfectantes.</p>

	<p>Categoría B: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser potabilizadas mediante un tratamiento convencional o avanzado; de acuerdo al Artículo 16 y a la tabla No.1 de esta Norma.</p>
Artículo 11.	<p>Se entiende por AGUA DE USO AGRICOLA Y PECUARIO su empleo para irrigación de cultivos, para el consumo del Ganado Mayor y Menor en sus diferentes especies, así como para otras actividades que la Secretaría de Estado en el Despacho de Agricultura y Ganadería establezca. Se subdivide en tres categorías:</p> <p>Categoría A: Agua para el riego de vegetales y frutas que se consumen crudos, Categoría B: Agua para el riego de cualquier otro tipo de cultivo, Categoría C: Agua para el consumo del ganado mayor y menor; de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 19 y a la Tabla No. 2 de esta Norma.</p>
Artículo 12.	<p>Se entiende por AGUA DE USO EN ACUACULTURA, aquella usada en el cultivo de organismos acuáticos marinos de agua dulce, salobre y salada, que incluyen peces, moluscos, crustáceos, algas y plantas acuáticas en donde el cultivo implica la intervención en el proceso de producción, siembra, alimentación, reproducción y protección; de acuerdo al Artículo 21 y a la Tabla No.3 de esta Norma.</p>
Artículo 13.	<p>Se entiende por AGUA DE USO INDUSTRIAL, su empleo en actividades como:</p> <ol style="list-style-type: none">Generación de EnergíaMineríaProcesos manufactureros de transformación o explotación y otros usos, exceptuando los indicados en el Artículo 8 de esta Norma.
Artículo 14.	<p>Se entiende por AGUA DE USO EN LA PRESERVACION DE LA FLORA Y LA FAUNA aquella que cuenta con la cantidad y calidad básica del agua y que mantiene la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y que permita la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, de acuerdo al Artículo 23 y a la Tabla No. 4 de esta Norma.</p>
Artículo 15.	<p>Se entiende por AGUA DE USO RECREATIVO su empleo en actividades de:</p> <ol style="list-style-type: none">Contacto Directo: Como en la natación, buceo y baños medicinales,Contacto Indirecto: Como en los deportes náuticos y la pesca; <p>De acuerdo al Artículo 24 y Tabla No. 5 de esta Norma.</p>
Artículo 16.	<p>La Norma Técnica Nacional para agua de uso en abastecimiento de poblaciones (destinada a la producción de agua potable) de la Categoría A y de la Categoría B; se detalla en la Tabla No. 1:</p>

Anexo 4-Clasificación del agua potable desde el punto de vista sanitario

Fuente- Republica de Honduras, Secretaria de Salud, 2001. *CESCCOSERNA*. [En línea]

<http://cesccoserma.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>

Anexo 5- Límite máximo permisible de Cromo Hexavalente en agua potable en la Republica de Honduras

TABLA No.1
NORMA TECNICA NACIONAL PARA AGUA DE USO EN
ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES

Parámetro	Categoría "A" (Desinfección)		Categoría "B" (Tratamiento Convencional)	
	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible	
Turbiedad	15.00	UNT	600.00	UNT
Color	15.00	UC	800.00	UC
pH	6.5 - 8.5		6.0 - 9.0	
Conductividad	1000.00	µs / cm	1600.00	µs / cm
Sólidos Disueltos	1000.00	Mg/l	2000.00	Mg/l
Oxígeno disuelto	5.00	Mg/l	4.00	Mg/l
DBO ₅	3.00	Mg/l	6.00	Mg/l
DQO	10.00	Mg/l	20.00	Mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0.50	Mg/l	1.00	Mg/l
Nitratos	50.00	Mg/l	50.00	Mg/l
Nitritos	3.00	Mg/l	3.00	Mg/l
Ortofosfatos	0.10	Mg/l	0.50	Mg/l
Fósforo Total	0.5	Mg/l	1.0	Mg/l
Sulfatos	250.00	Mg/l	400.00	Mg/l
Cloruros	250.00	Mg/l	250.00	Mg/l
Aluminio	0.20	Mg/l	0.20	Mg/l
Hierro	0.30	Mg/l	1.00	Mg/l
Manganeso	0.50	Mg/l	1.00	Mg/l
Zinc	3.00	Mg/l	3.00	Mg/l
Cobre	2.00	Mg/l	2.00	Mg/l
Níquel	0.02	Mg/l	0.02	Mg/l
Plata	0.05	Mg/l	0.05	Mg/l
Plomo	0.01	Mg/l	0.01	Mg/l
Mercurio	0.001	Mg/l	0.001	Mg/l
Cadmio	0.003	Mg/l	0.003	Mg/l
Cromo hexavalente	0.05	Mg/l	0.05	Mg/l
Arsénico	0.01	Mg/l	0.01	Mg/l
Cianuro	0.07	Mg/l	0.07	Mg/l
Antimonio	0.005	Mg/l	0.005	Mg/l
Fluoruros	0.70 - 1.5	Mg/l	0.70 - 1.5	Mg/l
Selenio	0.01	Mg/l	0.01	Mg/l
Sodio	200.00	Mg/l	200.00	Mg/l
Potasio	10.00	Mg/l	10.00	Mg/l
Hidrocarburos	0.05	Mg/l	0.05	Mg/l
Fenoles	0.002	Mg/l	0.002	Mg/l
Coliforme Total (NMP)	500	(100 ml)	10000	(100 ml)
Coliforme Termotolerante (NMP)	100	(100 ml)	2000	(100 ml)
Actividad Alfa	0.1	Bq/l	0.1	Bq/l
Actividad Beta	1.0	Bq/l	1.0	Bq/l

UNT = Unidad Nefelométrica de turbiedad. UC = Unidades de Color µs/cm = microsiums por centímetro
Mg/l = Miligramos por litro. Bq = Bequerios por litro.

Anexo 5- Límite máximo permisible de Cromo Hexavalente en agua potable en la Republica de Honduras

Fuente- Republica de Honduras, Secretaria de Salud, 2001. CESCOSERNA. [En línea]

<http://cesccoserna.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>

Anexo 6. Decreto Número 475 De 1998, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable en Colombia

 <p>Alcaldía de Medellín</p>	<p>DECRETO NUMERO 475 DE 1998</p> <p>(marzo 10)</p> <p>por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.</p>	<p>Página 1 de 22</p>
---	---	-----------------------

El Presidente de la República de Colombia, en ejercicio de las facultades conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y, en desarrollo de las Leyes 09 de 1979 y 142 de 1994

DECRETA:

CAPITULO I

Definiciones

Artículo 1º. Para los efectos del presente decreto, ~~adóptanse~~ las siguientes definiciones:

Aceptable: Calificativo que aprueba las características organolépticas del agua para consumo humano.

Agua cruda: Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua para consumo humano: Es aquella que se utiliza en bebida directa y preparación de alimentos para consumo.

Agua potable: Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

Agua segura: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el presente decreto, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

Análisis de vulnerabilidad: Es el estudio que permite evaluar los riesgos potenciales a que están sometidos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua.

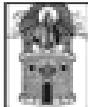
Análisis microbiológico del agua: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis organoléptico: Para los fines del presente decreto se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos

Anexo 6. Decreto Número 475 De 1998, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable en Colombia

Fuente- Gobierno de la República de Colombia, 1998. *Alcaldía Bogotá*. [En línea] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

Anexo 7-Límite máximo permisible de Cromo hexavalente en agua potable de la República de Colombia

 <p>Alcaldía de Medellín</p>	<p align="center">DECRETO NUMERO 475 DE 1998</p> <p align="center">(marzo 10)</p> <p align="center">por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.</p>	<p align="right">Página 6 de 22</p>
---	--	-------------------------------------

El Presidente de la República de Colombia, en ejercicio de las facultades conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y, en desarrollo de las Leyes 09 de 1979 y 142 de 1994

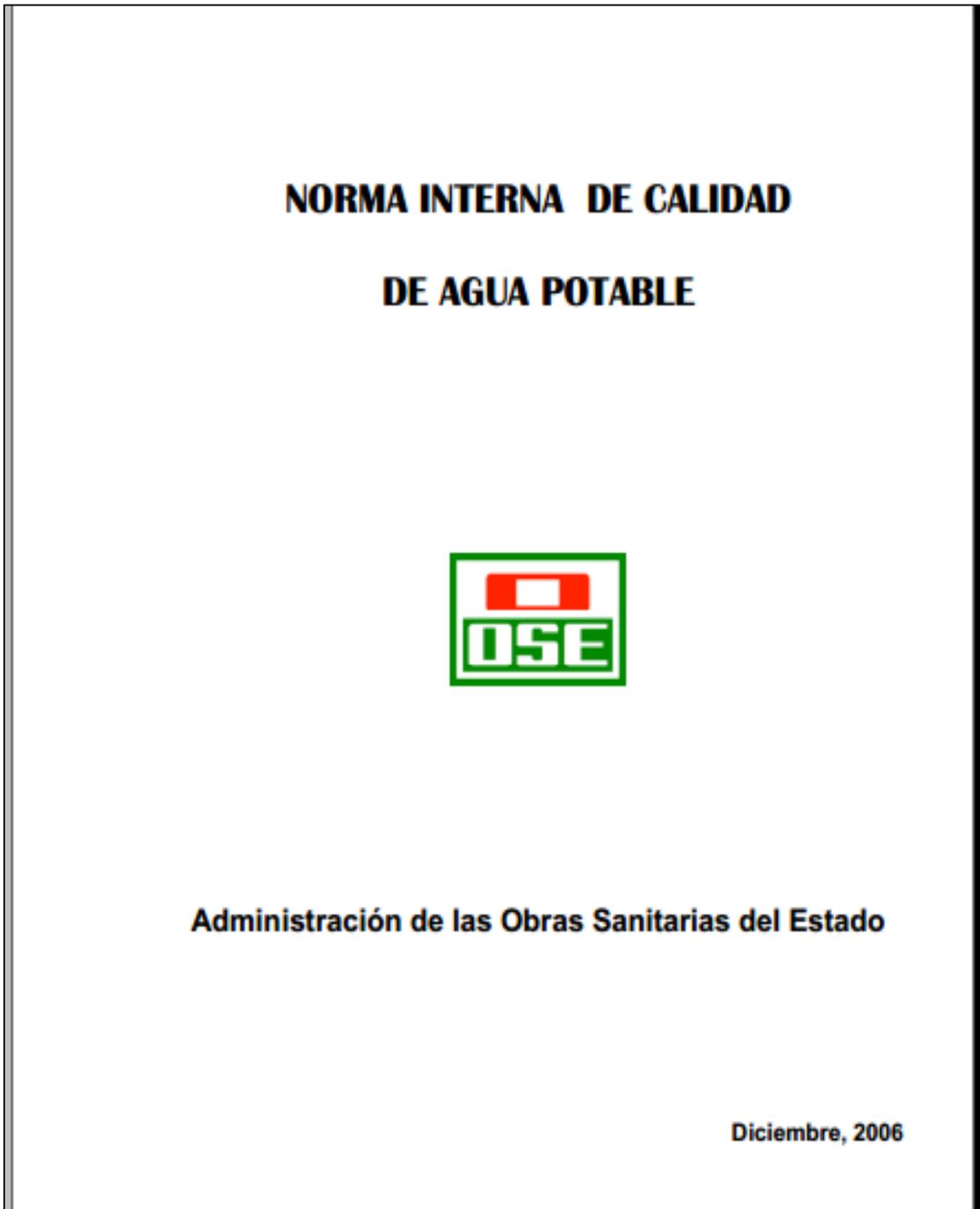
Artículo 8º. Los criterios químicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

- a. Criterios para elementos y compuestos químicos, diferentes a los plaguicidas y otras sustancias, que al sobrepasar los valores establecidos tienen reconocido efecto adverso en la salud humana:

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE mg/L
Aluminio	Al	0.2
Antimonio	Sb	0.005
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.5
Boro	B	0.3
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0.05
Cianuro total	CN ⁻	0.1
Cloroformo	CHCl ₃	0.03
Cobre	Cu	1.0
Cromo Hexavalente	Cr⁶⁺	0.01
Fenoles totales	Fenol	0.001
Mercurio	Hg	0.001
Molibdenu	Mo	0.07
Níquel	Ni	0.02
Nitritos	NO ²⁻	0.1
Nitratos	NO ³⁻	10
Plata	Ag	0.01
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	0.5
Grasas y aceites	-	Ausentes
Tribalometanos Totales	THMs	0.1

Anexo 7-Límite máximo permisible de Cromo Hexavalente en agua potable de la Republica de Colombia

Fuente- Gobierno de la República de Colombia, 1998. *Alcaldía Bogotá*. [En línea] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>



Anexo 8-Carátula de la Norma Interna de la Calidad de Agua Potable en Venezuela

Fuente- Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Venezuela, 2006. OSE.
[En línea]

http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/norma_interna_de_calidad_agua_potable_de_OSE.pdf

5.2 COMPONENTES QUIMICOS Y CARACTERÍSTICAS FISICAS

5.2.1 SUSTANCIAS QUIMICAS QUE PRESENTAN RIESGO PARA LA SALUD

TABLA 5

(cr): control recomendado

PARAMETRO	VMP	UNIDAD	OBSERVACIONES
A. Componentes inorgánicos			
Antimonio	0,005	mg/l	(cr) - Descargas de refinerías de petróleo; cerámicas; electrónica.
Arsénico	0,05	mg/l	Este límite fue establecido de acuerdo con las características geológicas de algunos depósitos naturales cercanos a pozos de extracción. La OMS recomienda 0,01 mg/l. En próximas revisiones de esta norma, los valores presentarán tendencia decreciente para homologar criterios. Erosión de depósitos naturales; residuos agropecuarios y de las industrias del vidrio y la electrónica.
Bario	0,7	mg/l	(cr) - Residuos en perforaciones; descargas de metalúrgicas; erosión de depósitos naturales.
Boro	0,5	mg/l	(cr)
Cadmio	0,003	mg/l	Corrosión de tuberías galvanizadas; erosión de depósitos naturales; descargas de metalúrgicas; residuos de baterías y pinturas.
Cianuro (como CN libre)	0,1	mg/l	(cr) - Descargas de minería, acerías y metalúrgicas; fábricas de plásticos y fertilizantes.
Cobre	Ver Tabla 6 - B		A concentraciones > 1 mg/l afecta la calidad organoléptica del agua. Corrosión de tuberías domésticas; erosión de depósitos naturales.
Cromo (total)	0,05	mg/l	Descargas de acerías y papeleras; erosión de depósitos naturales.
Flúor	1,5	mg/l	Erosión de depósitos naturales; descargas de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Manganeso	Ver Tabla 6 - B		A concentraciones > de 0,1 mg/l afecta las características organolépticas del agua.
Mercurio	0,001	mg/l	Erosión de depósitos naturales; descargas de refinerías y fábricas; filtraciones de tierras de cultivo y de rellenos sanitarios.
Molibdeno	0,07	mg/l	(cr)
Níquel	0,02	mg/l	(cr)
Nitrato (como NO ₃ ⁻)	50	mg/l	Ver Nota (*) al final de esta tabla. Filtraciones por uso de fertilizantes; pozos sépticos; aguas residuales; erosión de depósitos naturales.
Nitrito (como NO ₂ ⁻)	3	mg/l	Ver Nota (*) al final de esta tabla. Filtraciones por uso de fertilizantes; pozos sépticos; aguas residuales; erosión de depósitos naturales.
Plomo	0,03	mg/l	La OMS recomienda 0,01 mg/l. En próximas revisiones de esta norma, los valores presentarán tendencia decreciente para homologar criterios. Corrosión de tuberías; erosión de depósitos naturales.

10

Anexo 9-Límite máximo permisible de Cromo total en agua potable de Venezuela

Fuente- Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Venezuela, 2006. OSE.

[En línea]

http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/norma_interna_de_calidad_agua_potable_de_OSE.pdf

Anexo 10-Límite máximo permisible de Cromo total en agua de riego agrícola

Niveles máximos para metales en cultivos agrícolas

Elemento	Concentración Máxima Recomendada (mg/l)	Observaciones
Al (Aluminio)	5,0	Puede anular la productividad en suelos ácidos (pH < 5,5), pero los suelos más alcalinos con un pH > 7,0 precipitan el ión y eliminan la toxicidad.
As (Arsénico)	0,10	La toxicidad a las plantas puede variar considerablemente, desde 12 mg/l para el césped de Sudán hasta menos de 0,05 mg/l para el arroz.
Be (Berilio)	0,10	La toxicidad a las plantas puede variar considerablemente, desde 5 mg/l para la col rizada hasta 0,5 mg/l para el frijol bush.
Cd (Cadmio)	0,01	Es tóxico para los frijoles, remolacha y nabos en concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l en soluciones de nutrientes. Se recomiendan límites conservadores por su acumulación en plantas y suelos en concentraciones dañinas al ser humano.
Co (Cobalto)	0,05	Tóxico para las plantas del tomate en soluciones de nutrientes a 0,1 mg/l. Tiende a inactivarse en suelos alcalinos o neutros.
Cr (Cromo)	0,10	Generalmente no se le reconoce como un elemento esencial para el crecimiento. Se recomiendan límites conservadores debido a la falta de conocimiento sobre su toxicidad a las plantas.
Cu (Cobre)	0,20	Tóxico a diversas plantas de 0,1 a 1,0 mg/l en soluciones de nutrientes.
F (Flúor)	1,0	Se inactiva en suelos neutros o alcalinos.
Fe (Hierro)	5,0	No es tóxico a las plantas en suelos aerados, pero puede contribuir a la acidificación y pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno esenciales. El riego por aspersión puede formar depósitos desapercibidos en las plantas, equipo y edificaciones aledañas.
Li (Litio)	2,5	Es tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l, es móvil en el suelo y tóxico para los cítricos en concentraciones bajas (<0,075 mg/l). Actúa de manera similar al boro.
Mn (Manganeso)	0,20	Es tóxico para diversos cultivos en pocas décimas o en pocos mg/l, pero generalmente solo en suelos ácidos.
Mo (Molibdeno)	0,01	No es tóxico para las plantas en concentraciones normales en el suelo y agua. Puede ser tóxico para el ganado si el forraje crece en suelos con altas

Anexo 10-Límite máximo permisible de Cromo total en agua de riego agrícola

Fuente- Suematsu, L. G., 1995. PAHO. [En línea]

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>

Anexo 11- Artículo 11 que establece la definición de uso de agua agrícola y pecuaria, así como las tres categorías en las que ésta se divide.

Categoría B: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser potabilizadas mediante un tratamiento convencional o avanzado; de acuerdo al Artículo 16 y a la tabla No.1 de esta Norma.

Artículo 11. Se entiende por **AGUA DE USO AGRICOLA Y PECUARIO** su empleo para irrigación de cultivos, para el consumo del Ganado Mayor y Menor en sus diferentes especies, así como para otras actividades que la Secretaría de Estado en el Despacho de Agricultura y Ganadería establezca. Se subdivide en tres categorías:

Categoría A: Agua para el riego de vegetales y frutas que se consumen crudos,
Categoría B: Agua para el riego de cualquier otro tipo de cultivo,
Categoría C: Agua para el consumo del ganado mayor y menor; de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 19 y a la Tabla No. 2 de esta Norma.

Artículo 12. Se entiende por **AGUA DE USO EN ACUACULTURA**, aquella usada en el cultivo de organismos acuáticos marinos de agua dulce, salobre y salada, que incluyen peces, moluscos, crustáceos, algas y plantas acuáticas en donde el cultivo implica la intervención en el proceso de producción, siembra, alimentación, reproducción y protección; de acuerdo al Artículo 21 y a la Tabla No.3 de esta Norma.

Artículo 13. Se entiende por **AGUA DE USO INDUSTRIAL**, su empleo en actividades como:

- a) Generación de Energía
- b) Minería
- c) Procesos manufactureros de transformación o explotación y otros usos, exceptuando los indicados en el Artículo 8 de esta Norma.

Artículo 14. Se entiende por **AGUA DE USO EN LA PRESERVACION DE LA FLORA Y LA FAUNA** aquella que cuenta con la cantidad y calidad básica del agua y que mantiene la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y que permita la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, de acuerdo al Artículo 23 y a la Tabla No. 4 de esta Norma.

Artículo 15. Se entiende por **AGUA DE USO RECREATIVO** su empleo en actividades de:

- a) Contacto Directo: Como en la natación, buceo y baños medicinales,
- b) Contacto Indirecto: Como en los deportes náuticos y la pesca;

De acuerdo al Artículo 24 y Tabla No. 5 de esta Norma.

Artículo 16. La Norma Técnica Nacional para agua de uso en abastecimiento de poblaciones (destinada a la producción de agua potable) de la Categoría A y de la Categoría B; se detalla en la Tabla No. 1:

Anexo 11- Artículo 11 que establece la definición de uso de agua agrícola y pecuaria, así como las tres categorías en las que ésta se divide.

Fuente- Republica de Honduras, Secretaria de Salud, 2001. *CESCCOSERNA*. [En línea]

<http://cesccoserna.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>

Anexo 12. Límite máximo permisible de Cromo Total en aguas para uso agrícola y pecuario en la Republica de Honduras

NORMA TECNICA NACIONAL PARA AGUA DE USO AGRICOLA Y PECUARIO

Parámetro	Categoría "A"	Categoría "B"	Categoría "C"
	Agua para riego de vegetales que se consumen crudos	Agua para riego de otro tipo de cultivo	Agua para consumo de ganado mayor y menor
pH	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
Conductividad	3000.00 μ s/cm	3000.00 μ s/cm	3000.00 μ s/cm
Sólidos Disueltos	2000.00 mg/l	2000.00 mg/l	2000.00 mg/l
Cloruros	147.5 mg/L	147.5 mg/L	
Materia flotante			AUSENTE
Oxígeno Disuelto	>/ 3.00 mg/l	>/ 3.00 mg/l	
Nitratos + Nitritos			10 mg/l
Aluminio	1.00 mg/l	1.00 mg/l	2.00 mg/l
Hierro	3.00 mg/l	3.00 mg/l	
Manganeso	0.50 mg/l	0.50 mg/l	0.50 mg/l
Zinc	3.00 mg/l	3.00 mg/l	3.00 mg/l
Cobre	2.00 mg/l	2.00 mg/l	2.00 mg/l
Niquel	0.20 mg/l	0.20 mg/l	0.50 mg/l
Plata	0.05 mg/l	0.05 mg/l	
Plomo	0.10 mg/l	0.10 mg/l	0.10 mg/l
Mercurio	0.001 mg/l	0.001 mg/l	0.001 mg/l
Cadmio	0.005 mg/l	0.005 mg/l	0.005 mg/l
Cromo total	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0.10 mg/l
Arsénico	0.10 mg/l	0.10 mg/l	0.10 mg/l
Cianuro	0.20 mg/l	0.20 mg/l	0.20 mg/l
Fluoruros	0.70 – 1.5 mg/l	0.70 – 1.5 mg/l	0.70 – 1.5 mg/l
Selenio	0.02 mg/l	0.02 mg/l	0.02 mg/l
Berilio	0.10 mg/l	0.10 mg/l	
Cobalto	0.05 mg/l	0.05 mg/l	
Litio	2.50 mg/l	2.50 mg/l	
Vanadio	0.10 mg/l	0.10 mg/l	
Boro	1.00 mg/l	1.00 mg/l	
Coliforme Total	5000 (100 ml)	10000 (100 ml)	5000 (100 ml)
Coliforme Termotolerante	1000 (100 ml)	2000 (100 ml)	1000 (100 ml)
Huevos de Helmintos	1 (1000 ml)	2 (1000 ml)	
Actividad Alfa	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l
Actividad Beta	1.0 Bq/l	1.0 Bq/l	1.0 Bq/l

Anexo 12. Límite máximo permisible de Cromo Total en aguas para uso agrícola y pecuario en la Republica de Honduras

Fuente- Republica de Honduras, Secretaria de Salud, 2001. CESCOSERNA. [En línea]

<http://cesccoserna.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>

GACETA OFICIAL EXTRAORDINARIA: 5.021 del 18/12/95
DECRETO N° 883 FECHA: 11 de Octubre de 1995

RAFAEL CALDERA
PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el artículo 190, ordinal 10° de la Constitución y de conformidad con lo establecido en los artículos 19, 20 y 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, en Consejo de Ministros

CONSIDERANDO

Que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente.

CONSIDERANDO

Que el Ejecutivo Nacional mediante Decreto N° 125 de fecha 13 de abril de 1.994, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 35.445 de fecha 22 de abril de 1994, instruyó a la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, a proceder dentro del plazo de un año, contado a partir de la fecha de publicación del respectivo Decreto, a la evaluación de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos números 2.221, 2.222 y 2.224, publicados en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.418 Extraordinario de fecha 27 de abril de 1.992, a los efectos de su mejor adecuación a la realidad ambiental y socio-económica del país y en atención a la dinámica científica y técnica.

CONSIDERANDO

Que durante el plazo antes indicado la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente ha realizado una cuidadosa revisión de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos 2.221, 2.222, 2.224 y 125 a la luz de la situación actual de calidad de aguas en las diversas cuencas hidrográficas del país y de los resultados obtenidos hasta el presente en el control de los vertidos o efluentes líquidos, resultando de tal revisión la conveniencia de dictar un nuevo cuerpo normativo más adecuado a la realidad ambiental y socio-económica del país y a las exigencias de la dinámica científica y técnica,

Anexo 14-Clasificación de las aguas destinadas al sector agropecuario (sub-tipo 2Ay AB) de Venezuela

Zona de mezcla térmica: Volumen de agua donde tiene lugar la dispersión inicial de la descarga en el cuerpo receptor. Su dimensión vendrá determinada por las características de cada descarga y cuerpo receptor en particular.

CAPITULO II
De la clasificación de las aguas

ARTICULO 3º.- Las aguas se clasifican en:

Tipo 1 Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo 1 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

- Sub Tipo 1A:** Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
- Sub Tipo 1B:** Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
- Sub Tipo 1C:** Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

- Sub Tipo 2A:** Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
- Sub Tipo 2B:** Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Tipo 3 Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4 Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

- Sub Tipo 4A:** Aguas para el contacto humano total.
- Sub Tipo 4B:** Aguas para el contacto humano parcial.

Anexo 14-Clasificación de las aguas destinadas al sector agropecuario (sub-tipo 2Ay AB)

Fuente- Gobierno de la República de Venezuela, 1995. ADAN. [En línea]
<http://www.adan.org.ve/documentos/decreto-883.pdf>

Anexo 15- Límite máximo permisible de Cromo Total en agua destinada al riego agrícola en Venezuela

Organismos coliformes fecales menor a 100 NMP por cada 100 ml.

6. Las aguas del Sub-Tipo 2B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml.

7. Las aguas de los Sub-Tipo 2A y 2B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos o compuestos	Límites
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l
Bario	1,0 mg/l
Boro	0,75 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,2 mg/l
Cobre	0,20 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Hierro Total	1,0 mg/l
Litio	5,0 mg/l
Manganeso Total	0,5 mg/l
Mercurio	0,01 mg/l
Molibdeno	0,005 mg/l
Níquel	0,5 mg/l
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sólidos disueltos totales	3000 mg/l
Sólidos flotante	Ausentes
Vanadio	10,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)

Anexo 15- Límite máximo permisible de Cromo Total en agua destinada al riego agrícola en Venezuela

Fuente- Gobierno de la República de Venezuela, 1995. ADAN. [En línea]
<http://www.adan.org.ve/documentos/decreto-883.pdf>

Anexo 16- Carátula de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Salud.

GUSTAVO OLAZ FERNANDEZ, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o. fracción XIV, 13 apartado A fracción I, 118 fracción II y 119 fracción II de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción I y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 208, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 218, 224, 227 y demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 8o. fracción IV y 25 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

INDICE

0. INTRODUCCION
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
2. REFERENCIAS
3. DEFINICIONES
4. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA
5. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA
6. BIBLIOGRAFIA
7. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
8. OBSERVANCIA DE LA NORMA
9. VIGENCIA

0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

2. Referencias

NOM-008-SCFI-1983 'Sistema General de Unidades de Medida'.

3. Definiciones

3.1 Ablandamiento: Proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 Adsorción: Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 Agua para uso y consumo humano: Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.

3.4 Características bacteriológicas: Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

3.5 Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

3.6 Características químicas: Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

Anexo 16- Carátula de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

Fuente- Gobierno de la República Mexicana, 2002. *NOM-127-SSA1-1994*. [En línea]
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

Anexo 17- Parámetros máximos permisibles en agua potable para características químicas de México

4.3 Límites permisibles de características químicas

Las características químicas deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5

Anexo 17- Parámetros máximos permisibles en agua potable para características químicas de México

Fuente- Gobierno de la República Mexicana, 2002. *NOM-127-SSA1-1994*. [En línea] <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

Anexo 18- Portada de la NOM-CCA/032-ECOL/1993

10-18-93 NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA/032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 50 fracciones VIII y XV; 80, fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización; 85, 86 fracciones I, 111 y VII, 92 fracciones II y LV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales; Primero y Segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las formas oficiales mexicanas en materia de vivienda y Ecología, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que las aguas residuales de origen urbano o municipal sin tratamiento o mezcladas, son utilizadas en gran proporción para el riego agrícola, por lo que para prevenir el deterioro ecológico y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población, es necesario fijar los parámetros físicos, químicos y en su caso bacteriológicos de los mismos

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-032/93, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1993 con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 10 de julio de 1993, la sustitución de la clave NOM-PA-CCA-032/93, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave NOM-CCA-032-ECOL/1993, que en lo subsecuente la identificará.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V número especial de octubre de 1993.

Que mediante oficios de fecha 13 de octubre de 1993, las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, a través de la Comisión Nacional del Agua y la Dirección General de Salud Ambiental, respectivamente, expresaron su conformidad con el contenido y expedición de la presente norma oficial mexicana.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-32-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LOS LIMITES

Anexo 18- Portada de la NOM-CCA/032-ECOL/1993

Fuente- Secretaria de Desarrollo Social, 1994. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. [En línea]

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/216.pdf>

Anexo 19- Límites máximos permisibles en agua de riego agrícola en México

PARAMÉTROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH (unidades de pH)	6.5 a 8.5
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	2000
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	120
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	120
Aluminio (mg/L)	5.0
Arsénico (mg/L)	0.1
Boro (mg/L)	1.5
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuros (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.2
Cromo Total (mg/L)	0.1
Fierro (mg/L)	5.0
Fluóruros (mg/L)	3.0
Manganeso (mg/L)	0.2
Níquel (mg/L)	0.2
Plomo (mg/L)	5.0
Selenio (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

Anexo 19- Límites máximos permisibles en agua de riego agrícola en México

Fuente- Secretaria de Desarrollo Social, 1994. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. [En línea]

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/216.pdf>

REFERENCIAS

- Administración de las Obras Sanitarias del Estado, Venezuela. (Diciembre de 2006). *OSE*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/norma_interna_de_calidad_agua_putable_de_OSE.pdf
- Albert, L. (2006). *PAHO*. Recuperado el Mayo de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-p.pdf>
- Ayora, C. (2008). Los metales en el ciclo del agua. En *Aguas continentales: Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua* (págs. 117,118). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Azario, R., Susana, S., Ibarra, A., & Garcia, M. d. (2010). *SCIELO*. Recuperado el 05 de abril de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642010000100009&script=sci_arttext
- Barceló, D. (2008). *Aguas continentales: Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Becerril, A. G. (2009). *Observatorio geográfico*. Recuperado el 25 de septiembre de 2014, de ol130.mail.live.com/default.aspx
- Camero, J. P. (Junio de 2002). Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el Parque Natural de Monfragüe. *Tesis*. Extremadura: Facultad de Veterinaria, Extremadura.
- CARREG. (2012). *Inversiones térmicas*. Recuperado el mayo de 2016, de carregharuizmafer.blogspot.com
- Carrera, J. (2008). Consideraciones generales sobre recursos hídricos, calidad y tratamiento del agua en España. En *Aguas continentales: Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua* (págs. 13, 14). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (03 de Noviembre de 1998). *Europa.Lex*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:Es:PDF>
- Domínguez, C. W. (2011). *Introducción a las Ciencias Ambientales*. Toluca de Lerdo.
- Estrucplan . (2002). *Estrucplan* . Recuperado el 2016, de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=40>
- Fabela, S. G. (1989). Captación y aprovechamiento del agua pluvial en el corredor industrial, Toluca-Lerma. *Tesis*. Toluca.
- Gamboa, P. (14 de Enero de 2013). *El agua en la sociedad del conocimiento* . Recuperado el 27 de Septiembre de 2014, de http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5871:despe

rdicio-de-agua-es-de-2-millones-de-litros-al-mes&catid=121:cultura-del-agua&Itemid=486

- Garcidueñas, P. (10 de Abril de 2014). *Comunicación de Sustentabilidad y RSE*. Recuperado el 04 de Febrero de 2016, de <http://www.expoknews.com/sabes-cuanta-agua-consumes-diariamente/>
- Gobierno de España, Ministerio de la Presidencia. (1998). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Recuperado el noviembre de 2014, de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado : <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-3596>
- Gobierno de la República de Colombia. (10 de Marzo de 1998). *Alcaldía Bogotá*. Recuperado el 07 de abril de 2016, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>
- Gobierno de la República de Venezuela. (11 de Octubre de 1995). *ADAN*. Recuperado el 01 de abril de 2016, de <http://www.adan.org.ve/documentos/decreto-883.pdf>
- Gobierno de la República Mexicana. (2002). *NOM-127-SSA1-1994*. Recuperado el 03 de abril de 2016, de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Gobierno del Estado de México. (29 de Abril de 2005). *Secretaría de Desarrollo Urbano*. Recuperado el 25 de septiembre de 2014, de http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Toluca/RepuDocToluca.pdf
- Gobierno Federal . (2014). *Pro Mexico* . Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/recursos_naturales
- Gutiérrez, S. A. (2014). Captacion de agua pluvial, una solucion ancestral . *Impluvium*(1), 6-11.
- H. Ayuntamiento de Lerma . (2015). *Desarrollo Municipal de Lerma* . Recuperado el Marzo de 2016, de http://lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf
- H. Ayuntamiento de Lerma . (2016). *Gobierno de Lerma* . Recuperado el 10 de Abril de 2016, de http://lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf
- H. Ayuntamiento de Toluca . (2015). *Desarrollo Municipal de Toluca*. Recuperado el Marzo de 2016, de <file:///C:/Users/Montserrat/Downloads/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202013-2015%20número%20centrado.pdf>
- H. Cámara de Diputados. (2006). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- Hernandez, F. y. (2000). *UDLAP*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/pinera_e_rd/capitulo3.pdf
- Instituto Nacional de Ecología. (2009). Estudio de emisiones y actividad vehicular en tres ciudades mexicanas. fase III: Guadalajara, Nogales y Toluca.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *INEGI*. Recuperado el Agosto de 2016, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *INEGI*. Recuperado el 2017, de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/mexico.aspx?tema=T>
- International Renewable Resources Institute. (2008). *Irrimexico*. Recuperado el 28 de Octubre de 2014, de Irrimexico: http://irrimexico.org/pdf/manual_captacion_aguas_lluvias_centros_urbanos.pdf
- Legislatura del Estado de México. (2001). *Código Administrativo del Estado de México*. México.
- Lenntech. (2016). *Lenntech*. Recuperado el 05 de 04 de 2016, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>
- Lenntech. (2016). *Lenntech*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de <http://www.lenntech.es/tabla-comparativa-estandares-oms-ue.htm>
- Luna Espinosa, K., Romero Aguilar, M. M., & Ordoñez López, I. (2015). *Diagnóstico de la calidad del agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia y su aceptación en la comunidad de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx*. Toluca de Lerdo.
- Machado, A., Garcia, N., Garcia, C., Acosta, L., Cordova, A., Linares, M., y otros. (2008). Contaminación por metales en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Scielo*, 2,3.
- Marconetti, D. (15 de Abril de 2013). *La Voz*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de <http://www.lavoz.com.ar/cordoba/agua-lluvia-es-apta-para-consumo-humano>
- Martínez, P. M. (2013). Diagnóstico de la viabilidad de captación y uso de agua pluvial en la comunidad San Lorenzo Toxico, Municipio de Ixtlahuaca. *Tesis*. Toluca.
- Martínez, R. G. (2007). Determinación de metales pesados en la precipitación pluvial de una zona urbana (Ciudad de México) y de una zona rural (Rancho Viejo, Edo. Méx.). *Tesis*. Ciudad de México.
- Mesanza, A. (2011). Aprovechamiento de agua de lluvia. *Eco Habitar, bioconstrucción-permacultura-transición*, 20-22.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *FAO*. Recuperado el 2016, de <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s09.htm>
- Organización Meteorológica Mundial. (2016). *Organización Meteorológica Mundial*. Recuperado el 2016, de http://www.wmo.int/pages/index_es.html
- Órgano Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de Mexico . (2016). *Gaceta Municipal Metepec*. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de http://www.metepec.gob.mx/wp-content/uploads/files/GACETA/GACETA%202016/033116_GACETA_31_2016.pdf

- Organo Oficial de Gobierno Municipal de Metepec, Estado de México. (2016). *Gaceta Municipal de Metepec*. Obtenido de http://www.metepec.gob.mx/wp-content/uploads/files/GACETA/GACETA%202016/033116_GACETA_31_2016.pdf
- Ortiz, H. B. (2015). Toluca de Lerdo .
- Perkins, S. (2008). *Livestrong*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de http://www.livestrong.com/es/desventajas-beber-agua-info_26615/
- Remtavares. (2011). *Madrid, un lugar para la ciencia y la tecnología*. Recuperado el 01 de Abril de 2015, de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2011/05/24/131641>
- Remtavares. (2014). *DWC-WATER*. Obtenido de <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-en-la-industria/>
- República de Honduras, Secretaria de Salud. (15 de Mayo de 2001). *CESCCOSERNA*. Recuperado el 16 de Abril de 2016, de <http://cesccoserma.net/Documentos/Reglamentos/Propuesta%20de%20Norma%20de%20Usos%20de%20agua.pdf>
- Reyes Navarrete, M. g., Alvarado de la Peña, A. I., Antuna, D. M., García Vargas, A. G., & Vázquez Alarcón, E. d. (2014). *Repositorio digital*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8815/AN%C3%81LISIS%20DE%20ARS%C3%89NICO%20Y%20METALES%20PESADOS%20EN%20E%20L%20AGUA%202.pdf?sequence=1>
- Reynolds, K. (s.f.). *Agua Latinoamerica*. Recuperado el 06 de Abril de 2016, de http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/May_De%20La%20Llave.pdf
- Secretaria de Desarrollo Social. (1994). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado el 05 de abril de 2016, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/216.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Metales Pesados*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>
- Serrano, S. (1 de abril de 2014). Aprovechar el agua de lluvia, doble solución. *Impluvium, periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*, págs. 23-28.
- Suematsu, L. G. (1995). *PAHO*. Recuperado el 24 de Mayo de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>
- Tellez, B. (2013). *Crónica*. Recuperado el 25 de septiembre de 2014, de <http://www.cronica.com.mx/notas/2009/470970.html>
- Ugalde, G. M. (2012). Proyecto de captación y utilización del agua pluvial en el edificio "C" del Centro Universitario UAEM Atlacomulco para el 2012. *Tesis*. Toluca.
- Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. (Enero de 2001). *Agua sin fronteras*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de Agua sin fronteras : <http://www.aguasinfrenteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf>

Universidad de La Plata . (2008). *Espectrofotometria*. Recuperado el 2016, de <http://www.espectrometria.com/>

Vázquez, F. (2006). *FACENA*. Recuperado el Mayo de 2016, de exa.unne.edu.ar/quimica/quimica.analitica/arch

}