

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Bioquímica y Farmacia

**Evaluación de los efluentes generados en la producción de hormigón
descartados al río Machángara, Cuenca, Ecuador**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Bioquímico
Farmacéutico

Autor:

María Belén Chacón Chérrez

Director:

Jéssica Andrea León Vizñay

ORCID:  0000-0003-49131717

Cuenca, Ecuador

2023 – 11 – 07

Resumen

Introducción: En el río Machángara se receptan diferentes tipos de efluentes industriales, por atravesar la zona del parque Industrial. La empresa ETAPA EP colocó una red de monitoreo en esta zona, pero existen otras industrias fuera. Este trabajo pretende analizar un efluente que no es monitoreado por esta instalación, ya que, la industria que lo descarta al río, no pertenece a dicho parque. **Objetivos:** Evaluar los efluentes generados en la producción de hormigón que son descartados al río Machángara. Desarrollar un estudio de línea base de los efluentes para determinar los analitos problema. Definir un plan de tratamiento para los efluentes y proponer alternativas de consumo o reutilización. **Metodología:** Se realizó un estudio descriptivo transversal. Se determinó los analitos problema mediante diferentes métodos de análisis para los distintos parámetros físico-químicos. **Resultados:** Los analitos problema fueron pH, carbonatos, demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos totales, sustancias solubles al hexano, aluminio, arsénico, cromo, hierro y manganeso. El efluente generado puede ser reutilizado en el proceso de producción del hormigón en un 30% y 5% al mezclarse con el agua cruda. **Conclusiones:** Los efluentes no cumplen los límites permisibles expuestos en el Código Orgánico del Ambiente. Es posible su reutilización al mezclarse con el agua cruda, cumpliendo así con los límites establecidos por la INEN 2617:2012. Aunque existen diversos tratamientos para los efluentes, muchas de las industrias no están dispuestas a invertir en ellos.

Palabras clave: concreto, descarga, fábrica, agua residual



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Introduction: Different types of industrial effluents are received in the Machangara River, because it crosses the area of the Industrial Park. The company ETAPA EP placed a monitoring network in this area, but there are other industries outside. This work aims to analyze an effluent that is not monitored by this facility, since the industry that discharges it into the river does not belong to the park. **Objectives:** Evaluate the effluents generated in the production of concrete that are discharged into the Machangara River. Develop a baseline study of the effluents to determine the problem analytes. Define a treatment plan for the effluents and propose alternatives for consumption or reuse. **Methodology:** A descriptive cross-sectional study was carried out. The problem analytes were determined by different methods of analysis for the different physicochemical parameters. **Results:** The problem analytes were pH, carbonates, chemical oxygen demand, sedimentable solids, suspended solids, total solids, hexane-soluble substances, aluminum, arsenic, chromium, iron and manganese. The effluent generated can be reused in the concrete production process by 30% and 5% when mixed with raw water. **Conclusions:** The effluents do not meet the permissible limits set forth in the Organic Environmental Code. Reuse is possible when mixed with raw water, thus complying with the limits established by INEN 2617:2012. Although there are various treatments for effluents, many of the industries are not willing to invest in them.

Keywords: concrete, download, factory, wastewater



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Abstract	3
Agradecimientos	9
Dedicatoria	9
Introducción	10
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
1. MARCO TEÓRICO	12
1.1. Hormigón	12
1.2. Composición del hormigón	12
1.2.1. Cemento	12
1.2.2. Agua	12
1.2.3. Agregados	13
1.2.4. Aire	13
1.2.5. Aditivos	13
1.3. Propiedades del hormigón	14
1.4. Fabricación del hormigón	15
1.4.1. Materia prima	15
1.4.2. Dosificación	15
1.4.3. Elaboración de la mezcla	15
1.4.4. Elaboración de los bloques	15
1.4.5. Fraguado de los bloques	16
1.4.6. Curado de los bloques	16
1.5. Efluentes y tipos de efluentes	16
1.5.1. Efluentes domésticos	16
1.5.2. Efluentes Industriales	16
1.6. Agua generada en el proceso de fabricación del hormigón	17
1.7. Contaminantes asociados a la industria del cemento	17
1.7.1. Características físicas de este tipo de agua residual	18
1.7.2. Características químicas de este tipo de agua residual	20
1.7.3. Características biológicas de las aguas residuales	25

1.8. Efectos de los contaminantes de las aguas residuales en el cuerpo de agua dulce	25
2. METODOLOGÍA	26
2.1. Tipo de estudio de investigación	26
2.2. Área de estudio	26
2.3. Muestreo y tamaño de la muestra	26
2.4. Materiales, equipos y reactivos	26
2.4.1. Materiales:	26
2.4.2. Equipos:	27
2.4.3. Reactivos	28
2.5. Métodos y técnicas de análisis	29
2.5.1. pH	29
2.5.2. Conductividad	29
2.5.3. Sólidos totales por el método gravimétrico	29
2.5.4. Sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos por el método gravimétrico	29
2.5.5. Sólidos sedimentables por el método volumétrico	30
2.5.6. Alcalinidad por el método de titulación	30
2.5.7. Dureza total por el método titulométrico de EDTA	31
2.5.8. Dureza cárlica por el método titulométrico de EDTA	32
2.5.9. Demanda química de oxígeno	32
2.5.10. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	33
2.5.11. Cloruros por el método del nitrato de mercurio	33
2.5.12. Sulfatos por el método turbidimétrico	34
2.5.13. Fósforo total por el método del ácido ascórbico	34
2.5.14. Sustancias solubles en hexano por el método de extracción de Soxhlet	34
2.5.15. Metales por espectrometría de emisión atómica inductivamente acoplado a plasma ICP-OES	35
2.5.16. Balance de masas	35
2.6. Análisis estadístico	36
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	37
3.1. Resultados Generales	37
3.2. Evaluación del efluente	39
3.3. Tratamiento de aguas residuales previas a ser descartadas	43
3.4. Reutilización del efluente generado en la industria del hormigón	45
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47

4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Recomendaciones.	47
REFERENCIAS	48

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de barras de los efluentes de las 6 am y las 6 pm.....41

Índice de tablas

Tabla 1. Límites químicos para el agua de mezcla de hormigón según la INEN 2617:2012.....	13
Tabla 2. Aditivos utilizados en la industria hormigonera y su función.....	14
Tabla 3. Contaminantes asociados a las plantas con y sin lechada de la industria hormigonera.....	18
Tabla 4. Rangos de pH para el agua.....	20
Tabla 5. Rangos de alcalinidad del agua.....	23
Tabla 6. Rangos de dureza el agua.....	24
Tabla 7. Efecto de las aguas residuales contaminadas de la industria hormigonera.....	25
Tabla 8. Relaciones de alcalinidad.....	31
Tabla 9. Análisis descriptivo de los resultados obtenidos y límites máximos permisibles....	37
Tabla 10. Resultados del análisis del agua cruda.....	38

Agradecimientos

En la culminación de este importante proyecto, me gustaría expresarle mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Santiago por compartirme parte de sus conocimientos, sus orientaciones, su paciencia y por servirme de guía. A mi directora, la Doctora Jessica, por su tiempo, esfuerzo y dedicación.

A mi familia por todo el apoyo que me brindan día a día.

Y por último un agradecimiento especial a mi mamá por siempre confiar en mí, darme fuerzas y apoyarme a lo largo de todo este recorrido.

Dedicatoria

A mis padres María José y Fabrizio por creer siempre en mí, por sus consejos, su amor y su paciencia. Me han enseñado a esforzarme y a trabajar duro por lo que quiero.

A mis abuelos, Marcía, Vicente y mi Terita por el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y metas. Su bendición a lo largo de mi vida me protege.

Al regalo más grande que Dios me pudo entregar, mis hermanos, David y Emilio. Sin saberlo han sido mi salvación en mis momentos más difíciles. Nunca voy a poder devolverles toda la felicidad que me han sabido brindar.

A toda mi familia, gracias por el amor brindado cada día.

Introducción

Según un estudio publicado por Miller, Horvath & Monteiro (2018) del total de las extracciones de agua utilizadas para procesos industriales, el 9% va destinada a la producción de hormigón. Esta cifra representó el 1,7% de las extracciones de agua realizadas a nivel mundial. Aproximadamente se fabrican 25 billones de toneladas de hormigón en el mundo al año. En el 2019 se evaluó la calidad del agua en los ríos de Cuenca mediante la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA), donde se evidencio como disminuye la calidad del agua del río Machángara después de atravesar el Parque Industrial hasta un ICA= 40 puntos, siendo el río que alcanza el nivel más alto de contaminación en Cuenca (Pauta et al., 2019). La industria del hormigón constantemente genera efluentes que son residuos de tipo sólido, líquido, gaseoso o una mezcla de ellos que se vierten a un cuerpo receptor (Romero & Pastorino, 2014). La producción de hormigón genera un gran impacto ambiental dentro de los ecosistemas acuáticos. El proceso productivo del hormigón y la limpieza de la planta y de los camiones genera aguas residuales contaminantes por la clase de aditivos y la naturaleza del hormigón (Flores, Martín, Blasco & Alejandre, 2015).

El río Machángara de la provincia del Azuay se origina en el Parque Nacional Cajas y forma uno de los afluentes más importantes del río Paute (Fernández de Córdova & Rodríguez, 2016). Este río presentaba diferentes tipos de coloraciones que iban desde blancas, verdes e incluso rojas debido a que el río atraviesa el Parque Industrial de la ciudad de Cuenca, razón por la cual, eran eliminados efluentes provenientes de distintos tipos de industrias. En el año 2021, gracias a la denuncia de los habitantes del barrio “Orillas del Machángara”, la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) instaló una red de monitoreo automática en los colectores del alcantarillado del Parque Industrial (Huachichullca, 2021). Este trabajo pretende analizar el efluente de una industria que no pertenece a dicho parque, por lo tanto, el efluente que es desechado al río no es monitoreado por dicha instalación.

Con la finalidad de favorecer la protección ambiental, el derecho a un medio ambiente saludable, seguro, limpio y sostenible se analizó el efluente que, de manera regular, es descargado en el río Machángara por una industria de hormigón. Con el fin de determinar los analitos problema por medio de un estudio físico-químico para ofrecer un plan de tratamiento de ser así posible y plantear alternativas de uso o reutilización del efluente.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los efluentes generados en la producción de hormigón que son descartados al río Machángara, Cuenca, Ecuador.

Objetivos específicos

- Desarrollar un estudio de línea base de los efluentes para determinar los analitos problema.
- Definir un plan de tratamiento para los efluentes y proponer alternativas de consumo o reutilización.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Hormigón

El hormigón es un material compuesto por un medio aglutinante en el que se encuentran partículas y fragmentos áridos en proporciones adecuadas. Se pueden incluir o no aditivos que le proporcionan ciertas características especiales al producto (NTE INEN 1762, 2015).

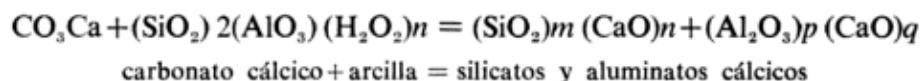
1.2. Composición del hormigón

El hormigón está compuesto por materiales inertes conocidos como “agregados” que pueden ser finos o gruesos, los cuales, se van a mantener unidos a través de una mezcla de cemento y agua que forman una pasta endurecida que se solidificara con el tiempo (Basurto & González, 2021).

1.2.1. Cemento

El cemento ocupa entre 7-15% del volumen de la mezcla y es un material conglomerante que está constituido por arcilla calcinada y caliza (Sánchez, 2003). Posee propiedades adhesivas y cohesivas, además tiene la capacidad de formar una pasta dura (fraguar), al entrar en contacto con el agua, que se vuelve resistente con el paso del tiempo (Alvarado, 2016). El cemento se obtiene quemando una mezcla entre el carbonato cálcico y arcilla para obtener silicatos y aluminatos cálcicos (Padilla, 1970).

Reacción para la obtención del cemento.



Fuente: Adaptado de Padilla, P. (1970).

1.2.2. Agua

El agua ocupa entre el 14-18% del volumen de la mezcla y cumple 2 funciones importantes en la mezcla de hormigón: Por un lado, el agua es un agente de hidratación que reacciona con las partículas del cemento y por otro lado le proporciona trabajabilidad al hormigón dependiendo de su cantidad (Alvarado, 2016 & de Sánchez, 2003).

Según el American Concrete Institute (ACI) 318:2014, la mayoría de aguas de origen natural que sean potables y que no posean olores ni colores marcados pueden ser usadas como agua de mezclado para producir hormigón. Además, el agua empleada no debe tener cantidades de aceites, ácidos, álcalis, materia orgánica, sales, sólidos disueltos y de iones cloruro que puedan resultar perjudiciales para el hormigón. Estas impurezas en el agua

pueden causar problemas en el tiempo de fraguado, la estabilidad volumétrica y la resistencia del concreto ocasionando corrosión o eflorescencia. Para la fabricación de hormigón en nuestro país el agua de mezcla debe cumplir ciertas características químicas según la INEN 2617:2012 que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites químicos para el agua de mezcla de hormigón según la INEN 2617:2012.

Parámetros	Límite máximo (en mg/L)
Sulfatos	500
Cloruros	3000
Álcalis	600
Sólidos totales	50000

Fuente: NTE-INEN 2617:2012.

1.2.3. Agregados

Estos materiales ocupan entre el 59-76% del volumen de la mezcla. Son materiales inertes, artificiales o naturales que tiene forma granular. Se clasifican en fracciones finas, como la arena y fracciones gruesas, como la grava. Estos se consideran llenantes de la mezcla, controlan cambios volumétricos y también proporciona resistencia mecánica (Sánchez, 2003).

1.2.4. Aire

Su proporción en el volumen de la mezcla se encuentra entre el 1-3%, el cual se conoce como aire atrapado. El aire incluido se incorpora a la mezcla por el uso de aditivos o por el uso de cementos que contengan agentes inclusores de aire, aquí la proporción de aire en el volumen de muestra es de 1-7% (Sánchez, 2003).

1.2.5. Aditivos

Los aditivos se suelen añadir a la mezcla con la intención de modificar una o más propiedades del hormigón y se encuentran en un porcentaje no mayor al 5% en masa (Sánchez, 2003).

Según la Norma NTE INEN 1762 (2014) un aditivo es un producto químico, utilizado como ingrediente en el hormigón, que se añade antes o durante su mezclado para mejorar alguna de sus propiedades. A continuación, se presentan los aditivos más utilizados en la industria en la Tabla 2.

Tabla 2. Aditivos utilizados en la industria hormigonera y su función.

Aditivo	Función
Reductores de agua: lignosulfato sódico/cálcico y jabones de resina	Permiten reducir el volumen de agua en el amasado del hormigón aumentando la docilidad y la trabajabilidad del hormigón mediante procesos físico-químicos. Suelen retrasar el tiempo de fraguado si se emplean en dosis muy elevadas.
Plastificantes: polvos finos.	También conocidos como agentes de retención de agua, también aumentan la docilidad y resistencia del hormigón, pero mediante procesos mecánicos y físicos permitiendo retener una cierta cantidad de agua.
Agentes inclusores de aire: resinas y aceites orgánicos	Producen y reparten uniformemente burbujas esféricas de aire aumentando la docilidad y trabajabilidad. Hace que el hormigón sea más impermeable y menos absorbente además de proporcionarle resistencia.
Acelerantes: productos a base de cloruros, bases y sales alcalinas.	Aceleran el fraguado y el endurecimiento del hormigón para un desencofrado rápido.
Retardadores: por lo general son sustancias orgánicas	Utilizado cuando se necesita transportar hormigón fresco durante distancias muy largas o en temperaturas muy elevadas.
Anticongelantes	Coincidir con los agentes inclusores de aire
Hidrófugos de masa: materias finas y sales de ácidos grasos.	Se combinan con otros aditivos que se usan en muy bajo porcentaje para conseguir un reparto uniforme del aditivo en el hormigón.

Fuente: (Rubio, 2007).

1.3. Propiedades del hormigón

Se conoce como hormigón fresco cuando la mezcla aún está blanda y se puede realizar el amasamiento del hormigón (Marcial & Navarrete, 2022). El hormigón endurecido se caracteriza por:

- **Trabajabilidad:** Capacidad del hormigón para mezclarse con facilidad o también la dificultad con la que se vierte en un sitio determinado.
- **Consistencia:** El grado en el que el hormigón se deforma para ocupar espacios vacíos en el lugar donde se coloque.

- **Fluidez:** Determina si el volumen de agua colocado en el hormigón es o no el adecuado.

Se conoce como hormigón endurecido a la mezcla luego del proceso de fraguado, donde se convierte de un material plástico a un material sólido (Marcial & Navarrete, 2022). Las propiedades del hormigón endurecido son:

- **Resistencia a la compresión:** Determina la calidad del hormigón. Aquí se somete al hormigón a diferentes cargas de compresión hasta que colapse y se calcula según la INEN 1573: 2010.
- **Módulo de rotura:** Esta propiedad indica la resistencia a la flexión del hormigón y su valor suele ser del 10% al 20% de la resistencia a la compresión.

1.4. Fabricación del hormigón

Según de León Régil (2005) los procesos a seguir en la fabricación del hormigón son:

1.4.1. Materia prima

La materia prima que se requiere para la fabricación del hormigón es el agua, cemento, agregados finos, agregados gruesos y aditivos.

1.4.2. Dosificación

En este proceso comienzan a pesarse todas las materias primas de manera correcta y uniforme, según las características del tipo de hormigón que se requiera de manera que este adquiera las propiedades adecuadas para su uso.

1.4.3 Elaboración de la mezcla.

Este proceso se lleva a cabo en una tolva, que se conecta con una mezcladora también llamada “mixer”. Los materiales se colocan en la siguiente secuencia: agregado grueso, tres cuartas partes de agua, mezclar durante 30 segundos, cemento, agregado fino y el resto del agua.

En el caso del hormigón premezclado su proceso de fabricación llegaría hasta este punto, ya que, luego de ser cargado en los camiones mixer es transportado fuera de la fábrica.

1.4.4. Elaboración de los bloques.

Para este proceso se debe colocar la mezcla en una tova la cual va a liberar cierta cantidad de mezcla en moldes cubiertos por aceite quemado o polvillo para facilitar el desmoldamiento. Una vez que se llena el molde al ras, se quitan excesos y se compacta la mezcla con martillos compactadores para luego, aplicar vibración por 3 segundos para acomodar la mezcla y así

asegurar que la mezcla se haya compactado lo suficiente. Se volteá el molde sobre una tabla o bandeja para que contenga el bloque.

1.4.5. Fraguado de los bloques

Los bloques recién fabricados deben permanecer inmóviles, donde se les garantice protección del viento y del sol. Para que puedan fraguar sin secarse por completo hasta que tengan la resistencia suficiente como para ser manipulados, es decir, de entre 12 y 24 horas.

1.4.6. Curado de los bloques

Durante 7 días se mantiene los bloques en condiciones adecuadas de humedad (mantener todo el tiempo los bloques húmedos) y temperatura (17 °C) para que puedan desarrollar resistencia y otras propiedades deseadas.

1.5. Efluentes y tipos de efluentes

Según Romero & Pastorino (2014) los efluentes son residuos, ya sea de tipo sólido, líquido, gaseoso o una mezcla de ellos que se vierten a un cuerpo receptor y estos se pueden clasificar según su origen en 2 tipos:

1.5.1. Efluentes domésticos

Este tipo de efluente es generado de manera continua durante el día. Tienen una composición variable, provienen de residencias, hoteles, lugares de ocio, comercios y centros comerciales, servicios y se caracterizan por ser aguas contaminadas por heces, restos de comida, jabones y detergentes (Carcavallo, 2021).

Las aguas residuales domésticas provocan dos tipos de contaminación del agua:

- Por bacterias: Principalmente coliformes presentes en las heces humanas, responsables de la alta incidencia de diarreas e infecciones (Archela, et al., 2010).
- Por sustancias orgánicas de difícil descomposición: Como los detergentes sulfónicos, que destruyen las células de los microorganismos acuáticos, inhibiendo la oxidación microbólica de materiales biodegradables contenidos en las aguas residuales. También reducen la tasa de captación de oxígeno, ralentizando el ritmo de autodepuración de los ríos (Archela, et al., 2010).

1.5.2. Efluentes Industriales

Estos efluentes son originados por procesos de industrialización más diversificados. Pueden generarse por el lavado de tanques, utensilios, maquinas, por el mismo proceso productivo o por derrames accidentales (Carcavallo, 2021).

Los principales contaminantes de origen industrial son:

- Contaminación por compuestos orgánicos: Los compuestos fenólicos son uno de los principales contaminantes de las aguas residuales industriales. Provienen de industrias químicas y farmacéuticas. A bajas concentraciones, alteran la potabilidad del agua y generan un sabor “contaminado” del pescado. Otro residuo contaminante importante son los detergentes para la limpieza de equipos y afectan principalmente a los organismos acuáticos del cuerpo de agua receptor (Archela, et al., 2010).
- Contaminación por compuestos inorgánicos: Los principales compuestos inorgánicos que amenazan la integridad de los recursos hídricos son los metales pesados, procedentes de industrias químicas y farmacéuticas, industrias de fertilizantes, además de actividades mineras (Archela, et al., 2010).

1.6. Agua generada en el proceso de fabricación del hormigón

Este tipo de industrias genera principalmente 2 tipos de residuos, sólidos y aguas residuales como fruto de las siguientes actividades:

- Limpieza de maquinaria: Es considerable la cantidad de agua que se usa para la limpieza de la maquinaria en este tipo de industria, sobre todo, para la limpieza de los camiones mixer. Este proceso produce un agua con una elevada alcalinidad, pH, sólidos disueltos y totales (Nemerow & Dasgupta, 1998).
- Agua utilizada para la formación de la mezcla: Solo se considera un problema en el caso de derrames. Esta agua contiene los mismos contaminantes que el agua que se utiliza para la limpieza de la maquinaria, pH, alcalinidad, sólidos disueltos y totales elevados (Nemerow & Dasgupta, 1998).
- Lechada de polvo: En este proceso el polvo generado se mezcla con la pasta. Para la recolección del polvo se lleva el efluente generado y los barridos húmedos que se realizan a un decantador, donde el residuo inferior se recoge y es devuelto al horno para mezclarse con la pasta. El sobrenadante se vierte, generando uno de los problemas más graves de contaminación por el elevado pH, alcalinidad, sólidos suspendidos, sólido disueltos, sulfatos y potasio (Nemerow & Dasgupta, 1998).

1.7. Contaminantes asociados a la industria del cemento.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha clasificado la industria hormigonera en 3 clases de plantas: Plantas sin lechada, plantas con lechada y escorrentía de las zonas de almacenamiento. Las plantas sin lechada y con lechada son las más comunes (EPA, 2004) y han sido asociadas a diferentes contaminantes (Tabla 3).

Tabla 3. Contaminantes asociados a las plantas con y sin lechada de la industria hormigonera.

Contaminante	Unidades Carga/producción	Con lechada		Sin lechada	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
pH	-	2,72	5,44	2,72	5,57
Sólidos disueltos totales	Kg/ton	0,005	11,84	0	7,13
Sólidos suspendidos totales	Kg/ton	0	4,07	0	6,65
Alcalinidad	Kg/ton	0	3,63	0	3,50
Potasio	Kg/ton	0,16	10,24	0	1,09
Sulfatos	Kg/ton	0,55	14,22	0	1,47
Aumento de la temperatura.	°C	-17,7	-6,7	0	-0,77

Fuente: (Nemerow & Dasgupta, 1998)

A parte de los contaminantes existen ciertas características propias del agua residual que es generada por la industria hormigonera.

1.7.1. Características físicas de este tipo de agua residual

➤ Sólidos

Según Alvarado (2016) los sólidos totales están formados por sólidos en suspensión y sólidos disueltos. Los sólidos totales indican la cantidad de materia disuelta y en suspensión de la muestra al volatilizar una porción de la muestra en una cápsula a una temperatura determinada. Se determina por la diferencia entre la masa final y la masa inicial (Chacón, 2016). Este contenido de sólidos de las aguas residuales afecta a la cantidad de lodos que se forman en el sistema de tratamiento (Alvarado, 2016).

- Sólidos suspendidos totales: Son partículas de tamaño variable que son retenidas por el movimiento del agua residual o por su propia densidad, pudiendo ser separadas por medios mecánicos y son expresadas en mg/L (Alvarado, 2016). Se determinan mediante la diferencia de peso que hay entre la masa final de la muestra filtrada y la masa inicial del filtro (Chacón, 2016).
- Sólidos sedimentables: Son sólidos que pueden decantarse o sedimentarse, partiendo de un volumen de muestra específico, en un tiempo determinado (Chacón, 2016). Indica la cantidad de materia en el agua residual que se decanta en condiciones

estáticas por la gravedad. Estos sólidos pueden ser eliminados por tratamientos primarios y son expresados en mg/L o ml/L (Alvarado, 2016).

- **Sólidos disueltos:** Indica la cantidad de sustancias inorgánicas y orgánicas en forma ionizada, molecular o micro granular presentes en el agua residual y se expresa en mg/L (Alvarado, 2016). Se estima el total de sólidos disueltos, calculando la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales (Chacón, 2016).

El agua residual que procede de las hormigoneras es principalmente producida por el lavado de los camiones mixer y es por esto que contienen y arrastran una gran cantidad de sólidos como el cemento y los áridos (Alvarado, 2016).

➤ **Olor y color**

El olor y el color son resultantes de la percepción que se tiene de un estímulo ya sea por el sistema sensorial visual u olfativo. El olor que presenta el agua residual de las hormigoneras es característico de la materia prima que se utiliza para su elaboración, siendo predominante el aroma a cemento.

En cuanto al color existen 2 tipos de colores, el color real, que es el color del agua una vez eliminada su turbiedad y el color aparente, que es el color que adquiere el agua por las sustancias en solución, coloidales y el material suspendido en ella. El agua residual de las hormigoneras es de color oscuro por el color de las materias primas que se utilizan (Alvarado, 2016).

➤ **Turbiedad**

La turbiedad se da cuando hay una gran variedad de sólidos suspendidos y materiales coloidales que provoca la ausencia de transparencia en el agua residual. También se puede definir a la turbiedad como una propiedad óptica, que hace que la luz remitida no sea transmitida a través de la suspensión y se expresa en unidad nefelométrica de turbidez (NTU) (Alvarado, 2016).

El agua residual generada por la industria hormigonera presenta un alto grado de turbidez por la materia prima empleada (Alvarado, 2016).

➤ **Densidad**

La densidad es la masa por unidad de volumen del agua residual y se expresa en Kg/m³ (Alvarado, 2016).

1.7.2. Características químicas de este tipo de agua residual

➤ pH

El pH es el coeficiente, que indica el grado de alcalinidad o acidez que presenta el agua residual. Se mide utilizando un potenciómetro, que funciona por un mecanismo de celda electroquímica. Utiliza un electrodo que combina un electrodo de referencia y de medición (sensible a los analitos). Así se genera un circuito mediante el cual fluye una corriente eléctrica entre los electrodos y la solución actuando como batería al sumergir el electrodo generando un voltaje medible. (CROMTEK, 2020)

El agua generada por la industria hormigonera presenta altos valores de pH (entre 10-12), por la presencia de minerales calcáreos, siendo aguas sumamente alcalinas (Alvarado, 2016). Los rangos de pH se pueden observar en la tabla 4.

El descagar aguas residuales con este nivel tan elevado de pH o una corriente natural podría causar la destrucción de la vida acuática, así como la disponibilidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para el desarrollo de vegetación (Espigares & Pérez, 2003).

Tabla 4. Rangos de pH para el agua.

Rango	pH
Muy ácida	≤ 4
Moderadamente ácida	5
Ligeramente ácida	6
Neutra	7
Ligeramente neutra	8
Moderadamente alcalina	9
Muy alcalina	≥ 10

Fuente: (Alvarado, 2016)

➤ Materia orgánica

La materia orgánica consiste en componentes como partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas que pueden causar color, olor, sabor, el desarrollo de microorganismos patógenos o por la presencia de materia no biodegradable. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %) y aceites y grasas (10 %) (Fuentes, et al, 2015).

Como indicativos del contenido de materia orgánica en el agua se puede hablar de parámetros como:

- La demanda química de oxígeno en donde el ion dicromato oxida la materia orgánica presente, produciendo el cambio del cromo hexavalente a trivalente, ambos cromos son coloreados y absorbidos en la región visible del espectro. En una muestra sometida a reflujo con cantidades conocidas de dicromato de potasio y ácido sulfúrico, la cantidad de materia orgánica oxidable medida como equivalente de oxígeno es proporcional al dicromato de potasio consumido (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023).
- La demanda bioquímica de oxígeno en donde se determina el oxígeno molecular utilizado para la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos después de un periodo de incubación de 5 días a una temperatura de 20°C y en la oscuridad. Este proceso de descomposición de la materia orgánica se mide en el agotamiento progresivo del oxígeno disuelto en este periodo de incubación (INEN 1202, 2013).
- Sustancias solubles al hexano que se determina mediante la hidrolisis de los jabones metálicos por su acidificación con ácido clorhídrico. Los aceites y las grasas presentes se separan de las muestras líquidas por filtración. Despues de la extracción Soxhlet con triclorotrifluoroetano, se pesa el residuo que queda después de la evaporación del disolvente para determinar el contenido de aceite y grasa. Los compuestos que volatilizan a, o por debajo de, 103 °C se perderán cuando se seque el filtro (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023).

➤ **Materia inorgánica**

Se conoce como materia inorgánica a aquella que no contiene carbono en su estructura y no es generada por los seres vivos, es generada por la naturaleza como, por ejemplo: minerales, sales, cloruros, etc. Se expresan en mg/L (Espigares & Pérez, 2003).

Como indicativo de la materia inorgánica presente en este tipo de agua residual se puede hablar de parámetros como:

- La conductividad que se mide mediante un conductímetro. El conductímetro crea un campo eléctrico entre dos electrodos utilizando una corriente alterna y mide la resistencia eléctrica de la disolución. Posteriormente el dispositivo convierte la lectura en S/cm (KALSTEIN, 2021).
- Determinación de metales por espectrometría de emisión atómica inductivamente acoplado a plasma ICP-OES donde el equipo emite de manera espontánea fotones de los átomos excitados por un plasma de argón que recibe energía de un campo electromagnético de alta frecuencia o de una corriente continua, que puede llegar a

alcanzar altas temperaturas (6800 K), que proporciona una señal característica de cada elemento proporcional a su concentración (Jiménez, Grijalvac & Ponce, 2020).

El agua residual de la industria hormigonera tienen una concentración de minerales bastante alta por la naturaleza de las materias primas que se utilizan para su fabricación (Alvarado, 2016).

➤ **Cloruros**

Los cloruros en el agua residual pueden proceder de la disolución de rocas y suelos que los contengan y que tengan contacto con el agua. La determinación de este ion es importante puesto que los tratamientos de aguas convencionales no eliminan los cloruros en cantidades significativas. Se expresan en mg/L (Alvarado, 2016).

El cloruro se puede valorar con nitrato de mercurio $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ por la formación de cloruro de mercurio soluble. A un pH de 2,3 a 2.8, la difenilcarbazona indica el punto final de la valoración por formación de un complejo púrpura con los iones mercúricos en exceso. El xileno-cianol FF sirve de indicador del pH y potenciador del punto final (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023).

De igual maneras las aguas residuales de las hormigoneras tienen una concentración elevada de cloruros por la naturaleza de las materias primas que se emplean en la producción, como el cemento, agregados finos y gruesos y sus aditivos (Alvarado, 2016 & Espigares & Pérez, 2003).

➤ **Sulfatos**

Al igual que los cloruros, los sulfatos proceden de rocas y suelos sedimentarios. Este ion es común en las aguas naturales y se encuentran en una concentración variable. Los sulfatos son capaces de reducirse a sulfuros los cuales pueden alterar el desarrollo normal de ciertos procesos biológicos si su concentración excede los 200 mg/L. Se expresan en mg/L (Alvarado, 2016 & Espigares & Pérez, 2003).

Los sulfatos se determinan por la precipitación del ion sulfato (SO_4^{2-}) con cloruro de bario (BaCl_2) en un medio de ácido acético formando sulfato de bario (BaSO_4) como cristales. Se mide la absorbancia de la suspensión de sulfato de bario (BaSO_4) y se determina la concentración de sulfato por comparación de la lectura con una curva patrón (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023).

Como en los cloruros, estos se encuentran en las aguas residuales de las hormigoneras por la naturaleza de las materias primas (Alvarado, 2016 & Espigares & Pérez, 2003).

➤ Fósforo

El fósforo se determina mediante la reacción del ortofosfato en medio ácido con el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio para formar un ácido heteropolifosfomolíbdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico a azul de molibdeno (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023).

➤ Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad que tiene una sustancia para poder neutralizar los ácidos y esta se debe a la presencia de elementos como el calcio, sodio, magnesio, potasio y amoniaco que forman hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua. La alcalinidad se encuentra asociada a valores altos de pH, sólidos disueltos y dureza (Carvajal, 2014).

Según el Standard Method for the Examination of Water and Wastewater edición 24 (2023) la alcalinidad se determina mediante la titulación de los iones hidroxilo presentes en una muestra que reaccionan con las adiciones de ácido estandarizado en 2 etapas sucesivas.

Primera etapa (alcalinidad a la fenolftaleína): Indica la cantidad medida mediante titulación a pH 8,3 independientemente del indicador de color utilizado.

Segunda etapa (alcalinidad total): Es la cantidad medida mediante titulación a pH 4.5.

Los rangos de alcalinidad para el agua se observan en la tabla 5.

El agua residual generada en la industria hormigonera tiene altos valores de pH por las materias primas empleadas en su fabricación (Alvarado, 2016).

Tabla 5. Rangos de alcalinidad del agua.

Rango	Alcalinidad (CaCO_3 mg/l)
Baja	<75
Media	75 - 150
Alta	>150

Fuente: (Carvajal, 2014)

➤ Dureza

La dureza es la concentración de cationes metálicos no alcalinos como el calcio, bario, estroncio y magnesio presentes en el agua residual en forma de bicarbonatos y carbonatos que se expresan como mg de carbonato de calcio/L. Un agua dura puede generar incrustaciones en lugares donde la temperatura incrementa (Soto, 2010).

- La dureza total se determina por los iones calcio y magnesio, que a pH 10 forman un complejo quelato soluble al entrar en contacto con el ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA). Se utiliza como indicador negro de eriocromo T, pasando de un color rojo vino a azul, señalando el punto final de la titulación por la formación de dicho complejo (INEN 974, 2016).
- La dureza cárlica se determina por una reacción que se da a un pH alto (12-13), para que el magnesio precipite como hidróxido. La murexida forma un complejo con el ion calcio de color rosado que es menos estable que el complejo Ca-EDTA, por lo que al titular con EDTA, primero se forma el complejo con el ion calcio libre y luego lo hace el calcio que está formando el complejo con la murexida. Cuando ha reaccionado todo el calcio, se produce el viraje del indicador de color rosado a púrpura (INEN 1107, 2013).

Los rangos de dureza del agua se observan en la tabla 6. El agua residual producida por la industria hormigonera también presenta valores elevados de dureza (Alvarado, 2016).

Tabla 6. Rangos de dureza el agua.

Rango	Dureza (mg/L)
Blanda	0 – 75
Moderadamente dura	75 – 150
Dura	150 – 300
Muy dura	>300

Fuente: (Soto, 2010)

➤ Álcalis

Se definen como sustancias cáusticas que elevan el pH del agua a valores bastante superiores de 7, entre ellas podemos encontrar a los hidróxidos y óxidos cárlicos, hidróxido de amonio y amoniaco, hidróxido de potasio y carbonato de potasio, hidróxido de sodio, fosfato trisódico, etc. Siendo el sodio y el potasio los iones directamente relacionados con los álcalis (Espigares & Pérez, 2003).

En la industria hormigonera estos álcalis se generan en la hidratación del cemento por una reacción producida por hidróxido de calcio cuando está en contacto con el agua e incluso por los aditivos que se emplean. Se expresa en mg/L o ppm (Alvarado, 2016).

1.7.3. Características biológicas de las aguas residuales

Por el pH de las aguas residuales procedentes de la industria hormigonera no presentan microorganismos tales como bacterias, virus, hongos, algas y protozoos debido a que este elevado pH dificulta el desarrollo de este tipo de microorganismos (Reynolds, 2001).

1.8. Efectos de los contaminantes de las aguas residuales en el cuerpo de agua dulce

La contaminación del aire y el agua representan uno de los mayores problemas ambientales en el proceso de fabricación del hormigón. El agua es una materia prima en la elaboración del hormigón, además, se usa para lavar los camiones y los patios de la fábrica para controlar las emisiones de polvo (de García et al., 2015).

Según Rubio (2007) los aditivos del hormigón en general no son tóxicos, a excepción de los de tipo “aceleradores” que si pueden resultar tóxicos. También indica que los residuos de la industria del hormigón no suelen tener un elevado riesgo ambiental y ecológico, siempre y cuando estos tengan una buena gestión. Además, por la naturaleza de sus materias primas, coloración y la demanda de oxígeno que tienden a biodegradarse indica que estos no deben verterse al curso de agua. El efecto de cada contaminante se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Efecto de las aguas residuales contaminadas de la industria hormigonera.

Contaminante	Efecto
Constituyentes minerales	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita de un tratamiento especial para su uso industrial. • Incrementa la dureza del agua. • Aumenta el contenido de sólidos disueltos a niveles tan altos que llegan a ser perjudiciales para la fauna y flora acuática. • Aporta a la eutrofización del cuerpo de agua.
Materia suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Los lodos contenidos causan la deposición de sólidos en los lechos marinos.
Metales, sustancias corrosivas, fenoles.	<ul style="list-style-type: none"> • Detiene la autodepuración de los ríos y puede llegar a causar la extinción de la fauna acuática.

Fuente: (De la cruz, 2020)

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de estudio de investigación

Diseño descriptivo de corte transversal

2.2. Área de estudio

Se analizó el agua cruda, utilizada como materia prima para la fabricación del hormigón, la cual es captada por medio de tuberías al interior de la fábrica (Anexo 1) y el efluente que a diario es eliminado al río Machángara, por medio de una tubería que conecta una fábrica productora de hormigón con dicho río (Anexo 2). La fábrica está ubicada en la Avenida González Suárez y Panamericana Norte. Se tomaron las muestras antes de que estas se mezclen con el cuerpo de agua receptor.

Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de saneamiento de ETAPA EP ubicado en Ucubamba y los parámetros analizados fueron: cloruros, sulfatos, alcalinidad total, alcalinidad a la fenolftaleína, dureza total, dureza cárlica, pH, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, sustancias solubles al hexano, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sólidos disueltos, aluminio, hierro, manganeso, cobre, cromo, arsénico, mercurio, sodio, potasio, zinc, plata, calcio y magnesio.

2.3. Muestreo y tamaño de la muestra

El muestreo se realizó en los meses de febrero, marzo y abril del 2023. Se realizaron 2 muestreos por mes, uno donde se recogió el efluente de las 6 am y otro donde se recogió el efluente de las 6 pm para analizar las variantes que podrían existir entre estos 3 meses y las diferencias entre los efluentes de la mañana y de la tarde. El volumen del muestreo fue de 4L en un frasco de plástico de polipropileno donde se tomaron muestras puntuales, antes de que estas se mezclen con el caudal normal del río. La muestra se transportó hasta el laboratorio donde se realizaron los análisis físico-químicos por duplicado.

2.4. Materiales, equipos y reactivos

2.4.1. Materiales:

- Cápsula de porcelana
- Pipetas serológicas

- Pipetas volumétricas
- Filtro de fibra de vidrio
- Vasos de precipitación
- Buretas
- Sujetadores de buretas
- Matraz Erlenmeyer
- Papel filtro (Whatman 934AH)
- Cono Imhoff
- Kitasato
- Probetas 1 L
- Frascos Winkler
- Moscas
- Tubos Nessler
- Tubos de borosilicato fondo redondo
- Gradillas
- Balones de aforo
- Balones
- Tubos de teflón

2.4.2. *Equipos:*

- Agitador magnético (Thermoline/sp 18425)
- Baño maría (Memmert/ WNB10)
- Horno (Memmert GmbH)
- Balanza (Sartorius/CP224S)
- Desecador (NALGENE 5317-0120)
- Conductímetro (HACH/SENSION 7)
- Bomba de vacío (Fisher scientific/5KC49NN0194AX)
- Medidor de oxígeno (YSI/57)
- Termo reactor (SPC SCIENCE/S3)
- Potenciómetro (Thermo scientific)
- Incubadora (Fisher Scientific/307)
- Pipetas automáticas (EPPENDORF)
- Plancha calentadora (Thermo scientific/ 2200)
- Espectrofotómetro (Thermo Espectralytic/Genesis 10)
- ICP-OES (PERKIN ELMER/OPTIMA 7000 DV)
- Computadora (ICP HP/ Core Duo)

- Calentador múltiple (GLAS-COL)
- SCHILLER grasas (EYELA/CCA-1111)
- Digestor microondas para metales (ETHOWS UP)

2.4.3. **Reactivos**

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,02 N
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 N
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 5N
- Ácido etilendiaminotetraacético 0.02 N
- Buffer para durezas
- Solución de tartrato de antimonio y potasio.
- Solución de molibdato de amonio
- Ácido ascórbico
- Ácido clorídrico (HCl) 1+1
- Ácido clorídrico (HCl) 6N
- Hexano (C_6H_{14})
- Tierra de diatomeas
- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.25N
- Ferroína ($C_{36}H_{24}FeN_{62+}$)
- Hidróxido de sodio (NaOH) 1N
- Ácido sulfúrico-sulfato de plata
- Nitrato de mercurio ($Hg (NO_3)_2$) 0.0141 N.
- Indicador mixto (difenilcarbazona + azul de bromofenol + alcohol etílico)
- Ácido nítrico (HNO_3) 0.1 N
- Buffer de sulfatos
- Ácido nítrico concentrado (HNO_3)
- Cloruro de bario ($BaCl_2$)
- Agua destilada acidulada al 2% con ácido nítrico
- Fenoftaleína
- Verde de bromocresol
- Murexida
- Negro de eriocromo T
- Agua destilada

2.5. Métodos y técnicas de análisis

2.5.1. pH

Procedimiento: Colocar el electrodo del potenciómetro calibrado dentro del recipiente de la muestra hasta que se estabilice. La medición de pH se determina directamente con el potenciómetro. (CROMTEK, 2020)

2.5.2. Conductividad

Procedimiento: Colocar la muestra en un vaso de precipitación e introducir el electrodo calibrado. Los resultados se expresan en uS/cm. Se mide directamente con el conductímetro. (KALSTEIN, 2021)

2.5.3. Sólidos totales por el método gravimétrico.

Procedimiento

1. Calentar las cápsulas limpias a 103-105°C por una hora, enfriar las cápsulas en un desecador por 30 min y pesar inmediatamente antes de usar.
2. Homogenizar la muestra con un agitador magnético y pipetear 100 ml de muestra para colocarlas en una cápsula previamente pesada.
3. Dejar evaporar el agua en un baño maría y trasladar a un horno a 103 -105°C.
4. Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.
5. Repetir este ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante.

(Chacón, 2016)

Cálculos:

$$mg\ de\ \frac{ST}{L} = \frac{(B - A) * 1000000}{Volumen\ de\ la\ muestra\ en\ ml}$$

Donde:

A = peso de la cápsula vacía

B = peso de la cápsula + residuo seco en g.

2.5.4. Sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos por el método gravimétrico.

Procedimiento

1. Previo al procedimiento lavar, secar, desecar y pesar hasta peso constante un filtro de fibra de vidrio.
2. Ensamblar el aparato de filtración para comenzar con la succión.

3. Humedecer el filtro con un pequeño volumen de agua destilada.
4. Homogenizar la muestra con un agitador magnético, mientras se agita pipetear 100 ml de muestra y depositar en el filtro ensamblado en la bomba de filtración.
5. Lavar la pipeta con 3 porciones de agua destilada para drenar completamente.
6. Una vez succionada toda el agua retirar el filtro y colocar en un horno a 103 – 105 °C.
7. Enfriar en un desecador hasta la temperatura ambiente y pesar.
8. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante.

(Chacón, 2016)

Cálculos:

$$mg \ de \frac{SST}{L} = \frac{(B - A * 1000000)}{Volumen \ de \ la \ muestra \ en \ ml}$$

Donde:

B = peso del filtro + residuo seco en g,

A = peso del filtro en g.

2.5.5. Sólidos sedimentables por el método volumétrico.

Procedimiento: Colocar 1 litro de la muestra bien homogeneizada en un cono Imhoff durante 45 minutos. Una vez completado el tiempo se pasa una pipeta limpia por los bordes del cono de manera descendente, sin mover el sedimento existente. Luego de 15 minutos más se procedió con la lectura. (Chacón, 2016)

2.5.6. Alcalinidad por el método de titulación.

Procedimiento: Medir 50 ml de muestra bien homogeneizada en un matraz Erlenmeyer. Añadir 5 gotas de fenolftaleína y titular con ácido sulfúrico 0.1 N hasta pasar de rosa a incoloro. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

Cálculos:

$$Alcalinidad \ a \ la \ fenolftaleína \ (mg \frac{CaCO_3}{L}) = \frac{A * 1000 * K}{V}$$

Donde:

A= ml de H₂SO₄ empleados para la titulación

K= constante del ácido sulfúrico 0,02 N

V= ml de muestra

Medir 50 ml de muestra bien homogeneizada en un matraz Erlenmeyer. Añadir 5 gotas de verde de bromocresol y titular con ácido sulfúrico 0.1 N hasta pasar de un color amarillo a azul.

Cálculos:

$$\text{Alcalinidad Total (mg CaCO}_3\text{)} = \frac{B * 1000 * K}{V}$$

Donde:

B= ml de H_2SO_4 empleados para la titulación

K= constante del ácido sulfúrico 0,02 N

V= ml de muestra

Se realizó el cálculo de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos mediante las fórmulas expresadas en la tabla 8:

Tabla 8. Relaciones de alcalinidad.

Siendo P el resultado de la alcalinidad a la fenolftaleína.

Siendo T el resultado de la alcalinidad total.

Resultado de la titulación	Hidróxidos	Carbonatos	Bicarbonatos
P=0	0	0	T
P< $\frac{1}{2}$ T	0	2P	T-2P
P= $\frac{1}{2}$ T	0	2P	0
P> $\frac{1}{2}$ T	2P - T	2 (T-P)	0
P-T	T	0	0

Fuente: (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

2.5.7. Dureza total por el método titulométrico de EDTA

Procedimiento: Medir 50 ml de la muestra y colocar 1ml de buffer. Añadir 2 gotas de Negro de Eriocromo. Titular la muestra con EDTA 0.02N. El viraje de la muestra se determina por el cambio de color de rojo vino a un color cardenillo. (INEN 974, 2016)

Cálculos:

$$\text{Dureza total como mg CaCO}_3 = \frac{(A * 1000 * K)}{V}$$

Donde

A = ml. de EDTA 0.02 N consumidos (NET)

K = constante de EDTA

V = ml. de muestra

2.5.8. Dureza cárlica por el método titulométrico de EDTA

Procedimiento: Medir 50 ml de muestra en un matraz erlenmeyer y añadir 2 ml de NaOH 1N. Adicionar de 0.1 a 0.2 g de indicador murexida. Titular la muestra con EDTA 0.02N. El viraje de la muestra se determina por el cambio de color de la solución de rosado a violeta. (INEN 1107, 2013)

Cálculos:

$$\text{Dureza total como mg CaCO}_3 = \frac{(B * 1000 * K)}{V}$$

Donde

B = ml. de EDTA 0.02 N consumidos (Murexida)

K = constante de EDTA

V = ml. de muestra

2.5.9. Demanda química de oxígeno

Procedimiento: Preparar las curvas de calibración de rango alto y bajo. Encender y precalentar el termo reactor a $150^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Homogenizar la muestra y añadir en un tubo 1.5 ml de reactivo de digestión, 2.5 ml de muestra y 3.5 ml de ácido sulfúrico-sulfato de plata, preparar un blanco. Homogenizar y dejar 2 horas en el termo reactor para que se lleve a cabo el proceso de digestión. Realizar la lectura en el espectrofotómetro del blanco y la muestra 420 nm o a 600 nm de acuerdo al rango trabajado. Se determina la DBO por comparación de la lectura con una curva patrón. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

2.5.10. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Procedimiento: Se realizaron diluciones de la muestra tomando como referencia la Demanda Química de Oxígeno, ya que esta presenta una correlación aproximada con la Demanda Bioquímica de Oxígeno y sirve de guía para seleccionar las diluciones a realizar. En base a esto se realizaron 3 diluciones consecutivas de la muestra aforadas a 1000 ml. Homogenizar la muestra y colocar en frascos Winkler, asegurando un cerrado hermético. Realizar la medición del oxígeno disuelto con un medidor de oxígeno. Incubar la muestra por 5 días a 20 °C ± 1°C. Luego de 5 días medir el oxígeno disuelto de las diluciones de la muestra. (INEN 1202, 2013)

Cálculos:

$$DBO \frac{mg}{L} = \frac{(D1 - D2) - \left(1 - \left(\frac{P}{100}\right)\right) * (B1 * B2)}{P/100}$$

Donde:

D1 = OD en mg/l de la muestra inmediatamente después de su preparación.

D2 = OD en mg/l promedio (2 lecturas) de la muestra después de la incubación a 20 °C ± 1°C

B1 = OD en mg/l del blanco antes de la incubación.

B2 = OD en mg/l promedio (2 lecturas) del blanco después de la incubación a 20 °C ± 1°C.

P = % de dilución de la muestra.

2.5.11. Cloruros por el método del nitrato de mercurio

Procedimiento: Medir 50 ml de muestra y agregar 0.5 ml de indicador mixto (difenilcarbazona + azul de bromofenol + alcohol etílico). Adicionar ácido nítrico 0.1 N hasta que la solución se torne amarilla. Titular con Hg (NO₃)₂ hasta que la solución se torne de color púrpura. Se trabaja con un blanco. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

Cálculos:

$$Cloruros como \frac{mg}{L} = \frac{(A - B) * N * K * 35450}{V}$$

Donde

A = ml. HgNO₃ empleados en la titulación de la muestra

B = ml. HgNO₃ empleados en la titulación del blanco

N = Normalidad de HgNO₃ (0.0141)

K = constante de HgNO₃

V = ml. de muestra

2.5.12. Sulfatos por el método turbidimétrico

Procedimiento: Realizar una curva de calibración. Medir 100 ml de muestra, añadir 20 ml de buffer de sulfatos y una cucharadita de BaCl₂. Agitar por 1 min en un agitador magnético. Leer las absorbancias en el espectrofotómetro a 420 nm. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

2.5.13. Fósforo total por el método del ácido ascórbico

Procedimiento: Realizar una curva de calibración. Medir 50 ml de la muestra y realizar una digestión en una placa precalentada hasta que se reduzca el volumen a 10 ml. Enfriar y colocar fenolftaleína. Añadir NaOH 1N hasta el viraje de la fenolftaleína. Colocar en un tubo Nessler de 50 ml y aforar con agua destilada. Colocar 8 ml de reactivo en la solución y esperar 10 minutos para leer a 880 nm. Se determina la concentración de fósforo por comparación de la lectura con una curva patrón. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

2.5.14. Sustancias solubles en hexano por el método de extracción de Soxhlet

Procedimiento:

1. Preparar el lecho filtrante tomando un papel filtro y colocar un disco de Muselina por debajo y filtrar 100 ml de una suspensión de Diatomeas.
2. Colocar 200 ml de la muestra en un balón de aforo y añadir 2 ml de HCl 6N.
3. Filtrar la muestra en el lecho filtrante previamente preparado.
4. Enrollar el disco de muselina con el material sólido e introducir en un dedal de extracción Soxhlet. Secar en la estufa a 103°C por 30 min.
5. Colocar en el matraz de extracción los dedales por 4 horas en el equipo Soxhlet con Hexano a 20 ciclos/h.
6. Retirar el matraz libre de Hexano y extraer el vapor con una bomba de vacío.
7. Colocar el balón en la estufa a 103°C por 30 minutos. Enfriar en el desecador por 30 minutos.
8. Pesar el balón.

(Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

Cálculos:

$$\text{Aceites y grasas en } \frac{mg}{L} = \frac{((B - A) * 1000000)}{V}$$

Donde:

A: Peso del balón vacío en gramos

B: Peso del balón con grasa en gramos

V: Volumen de la muestra en ml.

2.5.15. Metales por espectrometría de emisión atómica inductivamente acoplado a plasma ICP-OES

Procedimiento:

1. Medir 45 ml de la muestra previamente homogenizada y colocar en un tubo de teflón del equipo de digestión de muestras por microondas, luego colocar 5 ml de ácido nítrico concentrado.
2. Cargar los tubos en el equipo de digestión hasta que este termine su ciclo. Una vez terminado el proceso filtrar y transferir las muestras a frascos de polietileno.
3. Encender el equipo y la computadora.
4. Seleccionar en el programa del equipo los metales a determinar.
5. Correr un blanco (agua destilada acidulada al 2% con ácido nítrico) y la respectiva curva de cada metal preparadas con anticipación de patrones comerciales.
6. Una vez corridos los blancos y las curvas es posible correr la muestra.
7. Se determina la concentración de cada metal por comparación de la lectura con una curva patrón. (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition, 2023)

Todas las curvas de calibración utilizadas para los análisis se encuentran adjuntadas en el Anexo 3.

2.5.16. Balance de masas

Para realizar el balance de masas se determinaron los mismos parámetros que en los efluentes, pero ahora en el agua cruda que se utiliza para fabricar el hormigón. Esta agua proviene de una acequia de Ricaurte que es captada por la fábrica a través de tuberías.

El balance de masa se expresa mediante el cálculo, es este caso, de la alcalinidad ponderada. Con el cálculo de la alcalinidad ponderada se determina el porcentaje de agua

residual que tendrían que ser utilizadas en relación con el agua cruda para poder cumplir con los límites de álcalis establecidos por la INEN 2617:2012. Según Hougen, Ragatz & Herráez (1975) utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad ponderada} = \left[\frac{(B * C) + (D * E)}{(C + E)} \right]$$

Donde:

B= Alcalinidad del agua cruda

C= Volumen de agua cruda a utilizar

D= Alcalinidad del agua residual

E= Volumen de agua residual a utilizar

Según la bibliografía consultada para producir un metro cúbico de hormigón se necesitan en promedio desde 200 – 220 litros de agua, para fines prácticos se tomará como referencia un valor de 210 litros de agua para el valor total de (C+E). (Padilla, 1970)

2.6. Análisis estadístico.

Con los datos obtenidos se realizó una estadística descriptiva, obteniendo las medias de cada uno de los parámetros analizados y los efluentes de las 6 am y 6 pm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Resultados Generales

Los parámetros que fueron analizados en el agua cruda y en los efluentes fueron cloruros, sulfatos, alcalinidad total, alcalinidad a la fenolftaleína, dureza total, dureza cárquica, pH, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, sustancias solubles al hexano, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sólidos disueltos, aluminio, hierro, manganeso, cobre, cromo, arsénico, mercurio, sodio, potasio, zinc, plata, calcio y magnesio, realizándose por duplicado (Tabla 9 y Tabla 10). Los valores obtenidos en el análisis de cada uno de los parámetros de los efluentes y los límites máximos permisibles para poder descargar efluentes industriales en cuerpos de agua dulce según diferentes normativas se pueden observar en el Anexo 3.

Tabla 9. Análisis descriptivo de los resultados obtenidos y límites máximos permisibles.

Parámetro	Media efluente 6 am	Media efluente 6 pm	Límite máximo
Alcalinidad total	902,6 mg CaCO ₃ /L	2957,4 mg CaCO ₃ /L	-
Bicarbonatos	109,4 mg CaCO ₃ /L	1927,1 mg CaCO ₃ /L	-
Carbonatos	553,8 mg CaCO ₃ /L	1030,4 mg CaCO ₃ /L	20 mg/L (NWA, 1998)
Hidróxidos	239,3 mg CaCO ₃ /L	0,00 mg CaCO ₃ /L	-
Cloruros	24,0 mg/L	45,5 mg/L	1000 mg/L (COA, 2017)
Conductividad	1097,6 uS/cm	978,7 uS/cm	-
Demandra bioquímica de oxígeno	4,0 mg/L	11,7 mg/L	100 mg/L (COA, 2017)
Demandra química de oxígeno	85,6 mg/L	413,3 mg/L	200 mg/L (COA, 2017)
Dureza total	1910,9 mg CaCO ₃ /L	3211,1 mg CaCO ₃ /L	-
Dureza cárquica	302,0 mg CaCO ₃ /L	906,2 mg CaCO ₃ /L	-
Dureza magnésica	1608,8 mg CaCO ₃ /L	2304,9 mg CaCO ₃ /L	-
Fosforo total	1,1 mg/L	5,1 mg/L	10,0 mg/L (COA, 2017)
pH	11,6	11,7	6-9 (COA, 2017)
Sólidos sedimentables	10,6 ml/L	45,0 ml/L	≤ 0,5 ml/L (ACUMAR, 2020)
Sólidos suspendidos totales	1461,0 mg/L	7642,7 mg/L	130 mg/L (COA, 2017)
Sólidos totales	2448,0 mg/L	8125,3 mg/L	1600 mg/L (COA, 2017)
Sustancias solubles al hexano	24,0 mg/L	85,7 mg/L	30 mg/L (COA, 2017)
Sulfatos	178,2 mg/L	67,9 mg/L	1000 mg/L (COA, 2017)
Aluminio	35,1 mg/L	122,3 mg/L	5 mg/L (COA, 2017)
Arsénico	0,03 mg/L	0,2 mg/L	0,1 mg/L (COA, 2017)

Cobre	0,3 mg/L	0,2 mg/L	1,0 mg/L (COA, 2017)
Cromo	0,32 mg/L	0,54 mg/L	0,5 mg/L (COA, 2017)
Hierro	38,87 mg/L	103,06 mg/L	10,0 mg/L (COA, 2017)
Manganoso	1,03 mg/L	3,06 mg/L	2,0 mg/L (COA, 2017)
Mercurio	<0,006 mg/l	<0,006 mg/l	0,005 mg/L (TULSMA, 2003)
Plata	<0,005 mg/l	<0,005 mg/l	0,1 mg/L (COA, 2017)
Potasio	10,90 mg/L	24,11 mg/L	50 mg/L (NWA, 1998)
Sodio	54,73 mg/L	179,11 mg/L	200 mg/L (NWA, 1998)
Zinc	0,20 mg/L	0,61 mg/L	5,0 mg/L (COA, 2017)
Sólidos disueltos	987,00 mg/L	482,67 mg/L	1000 mg/L (NWA, 1998)

Tabla 10. Resultados del análisis del agua cruda.

Parámetro	Agua utilizada para la elaboración del hormigón
Alcalinidad total	461,6 mg CaCO ₃ /L
Bicarbonatos	461,7 mg CaCO ₃ /L
Carbonatos	0 mg CaCO ₃ /L
Hidróxidos	0 mg CaCO ₃ /L
Cloruros	25,7 mg/L
Conductividad	732 uS/cm
Demandra bioquímica de oxígeno	10 mg/L
Demandra química de oxígeno	45 mg/L
Dureza total	985 mg CaCO ₃ /L
Dureza cárccica	295,5 mg CaCO ₃ /L
Dureza magnésica	689,5 mg CaCO ₃ /L
Fosforo total	0,5 mg/L
pH	7,7
Sólidos sedimentables	0,5 ml/L
Sólidos suspendidos totales	152 mg/L
Sólidos totales	684 mg/L
Sustancias solubles al hexano	6 mg/L
Sulfatos	37,8 mg/L
Aluminio	7,6 mg/L
Arsénico	<0,003 mg/L
Cobre	0,03 mg/L
Cromo	<0,002 mg/L
Hierro	4,8 mg/L
Manganoso	0,2 mg/L
Mercurio	<0,006 mg/L
Plata	<0,005 mg/L
Potasio	7,2 mg/L

Sodio	105,9 mg/L
Zinc	0,05 mg/L
Sólidos disueltos	532 mg/L

Uno de los objetivos de este estudio, fue determinar si el efluente generado por esta industria de hormigón cumplía con las normas establecidas en el Ecuador por el Código Orgánico de Ambiente (COA), el cual fue publicado en el Registro oficial Nro. 893 del 2017, entrando en vigencia el 2018. El COA reemplaza al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Este nuevo código, indica los límites de descarga que deben cumplir todos los efluentes industriales que sean descartados en cuerpos de agua dulce (Ministerio del Ambiente, sf). Como no se encontraron todos los parámetros en el COA, se buscaron estos límites en normas de otros países como la Normativa Argentina, Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) y en la Normativa Sur Africana, la National Water Act (NWA). Es importante mencionar que, no se encontraron límites máximos permisibles para la descarga en cuerpo de agua dulce para la alcalinidad, bicarbonatos, hidróxidos, conductividad, dureza total, dureza cálcica y dureza magnésica.

Según el COA (2017), las aguas residuales que no cumplan con los límites establecidos deben ser tratadas de manera adecuada. Los sistemas de tratamiento deben ser modulares, es decir, que en caso de que una unidad de tratamiento se paralice, no se produzca una falta absoluta del tratamiento de estas aguas residuales. El COA también prohíbe la descarga de efluentes líquidos sin tratamiento a canales de conducción de agua que, se originen por el lavado o mantenimiento de vehículos terrestres o aéreos.

3.2. Evaluación del efluente

Como se puede observar en la tabla 9, parámetros como los carbonatos, la demanda química de oxígeno (6 pm), sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos totales, sustancias solubles al hexano (6 pm), aluminio, arsénico (6 pm), cromo (6 pm), hierro, manganeso (6 pm) y pH no cumplen con el límite de descarga establecido por el COA para poder ser vertidos en el río Machángara. Demostrando así que esta industria hormigonera no debería descargar su efluente a dicho río.

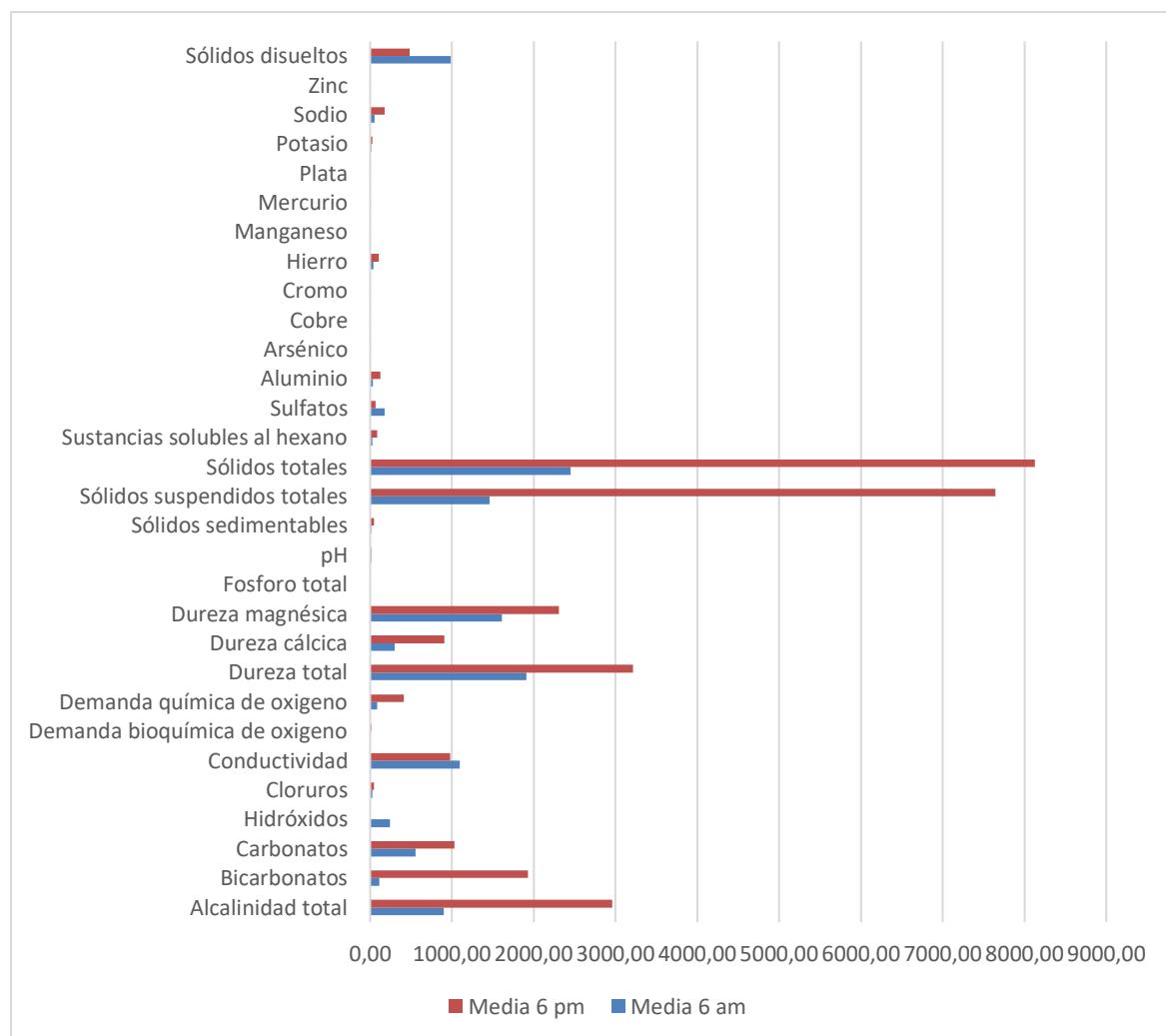
Según un estudio realizado en Cuba, el efluente descargado a la Bahía de Santiago de Cuba por una industria de hormigón determinó que se encontraba incumpliendo la norma para los sólidos suspendidos. Este estudio también menciona la alta posibilidad de auto fraguado de este tipo de efluentes (Tito et al., 2021). Estos hallazgos concuerdan con lo obtenido en este trabajo, donde el valor de los sólidos suspendidos no cumple con el límite establecido por el

COA, al igual que el auto fraguado de este tipo de efluentes (Anexo 5). Por esta razón, la empresa evaluada en la Ciudad de Cuenca no puede verter este tipo de efluente al alcantarillado, ya que, podría llegar a taponar las tuberías.

Otro estudio realizado en Jordania, determinó que parámetros como el pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, DQO, DBO, sulfatos, cromo y plomo no cumplían con su norma nacional (Ghrair et al., 2020). El incumplimiento estos parámetros coinciden con este estudio, al presentar valores elevados de los parámetros mencionados a excepción de la DBO, sulfatos y del plomo, el cual no se analizó.

De los resultados, se debe recalcar que los valores obtenidos del efluente de las 6 am son, la mayoría de veces, menores a los obtenidos del efluente de las 6 pm con algunas excepciones como los hidróxidos, la conductividad, pH (de manera muy ligera), sulfatos, cobre y los sólidos disueltos lo cual se puede observar en la figura 1. Esto podría deberse a que la producción de hormigón en la fábrica es mayor en el día que en la noche. Aunque se trató de trabajar conjuntamente con la Industria para la realización de estos análisis y así obtener mayor información, esto no fue posible.

Figura 1. Diagrama de barras de los efluentes de las 6 am y las 6 pm.



Se debe considerar que, parámetros como la conductividad puede llegar a ser alterada por la temperatura, el pH, las sales presentes y los gases disueltos (Pérez, 2016). Las sales minerales aumentan la conductividad, en cambio, materias orgánicas o coloidales suelen hacer que el valor de la conductividad disminuya (Pérez, 2016). Uno de los valores que también se encontraba aumentado en el efluente de las 6 am fueron los sulfatos, que son los principales contribuyentes de la “mineralización del agua”. Estos junto con los sólidos disueltos son capaces de aumentar la conductividad del agua (Silva, et al., 2010). Es por esto que la conductividad del efluente de las 6 am tiene un valor de conductividad más alto que el de las 6 pm, por sus niveles de sulfatos y sólidos disueltos.

La presencia de sustancias solubles al hexano, como las grasas y aceites, en este tipo de efluentes puede deberse a que, al limpiar y lavar las plantas y camiones, se arrastran junto con el agua aceites y grasas. El uso de aditivos como agentes inclusores de aire y

anticongelantes también pueden agregar este tipo de compuestos al agua, por su naturaleza (Tito, 2021).

A pesar de que esta fábrica de hormigón cuenta con un sedimentador, el contenido de sólidos sedimentables, suspendidos y totales sigue siendo sumamente alto. El contenido de sólidos de este tipo de efluentes, se encuentra relacionado con las operaciones de limpieza de camiones. También por la limpieza de patios que arrastra los polvos finos del cemento, los áridos gruesos y finos que se emplean y provienen del desmoldado y el lavado de equipo y maquinaria. Esto presenta un problema por alterar la turbiedad del agua, evitando así la penetrabilidad de la luz y por ende la productividad de los ecosistemas acuáticos (Tito, 2021). Como los sólidos sedimentables, suspendidos y totales no cumplen con los límites establecidos en la normativa, estos si se consideran como un riesgo ambiental para el río Machángara y su ecosistema.

Metales como el cromo, arsénico, mercurio, manganeso y el cobre son tóxicos y persisten en el ambiente. Los iones mercurio pueden ser captados por ciertas bacterias y convertirse en metilmercurio. Este es soluble en grasa y puede llegar a acumularse en peces, llegando a formar parte de la cadena alimentaria humana (Yassi, et al. 2002). El plomo es uno de los metales más tóxicos para la vida acuática, al ser un metal bioacumulable en los tejidos, puede llegar a entrar en la cadena alimenticia humana afectar a los consumidores a corto o largo plazo en bajas concentraciones (Santos, 2011). Este se suele usar como agente antidetonador en las gasolinas (Yassi, et al. 2002) y el hecho de que se laven los vehículos y la maquinaria de la fábrica de hormigón, podría explicar cómo es que el plomo llega a formar parte de las aguas residuales de dicha fábrica.

Además, un estudio realizado en Costa Rica se determinó la composición química del cemento. Este presenta porcentajes elevados de CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, cromo, plomo y mercurio, lo cual, explica las altas concentraciones de metales como el Hierro y el Aluminio en las aguas residuales de este tipo de fábricas (Padilla et al., 2017). Sin embargo, ningún artículo menciona nada acerca de que el cemento o el hormigón contengan Arsénico. El Arsénico se emplea en insecticidas agrícolas y venenos (Nava, 2003). Su presencia podría atribuirse a que el Arsénico se encuentra ya en el agua cruda utilizada para hacer el hormigón que proviene de Ricaurte. Esta agua puede ser utilizada por los pobladores de la zona como agua de riego y de esta forma contaminarse con insecticidas y venenos, pero se necesitaría realizar más análisis de esta agua para llegar a una conclusión.

En cuanto a la DBO, se espera niveles bajos, debido a que este parámetro es un indicativo de la contaminación orgánica biodegradable presente en el agua. La cuál es mínima en este

tipo de efluentes (Albis, 2016). Por otra parte, la DQO indica la materia orgánica e inorgánica que está presente en un cuerpo de agua y que es susceptible a ser oxidada por un oxidante fuerte. Los valores altos de DQO en este tipo de aguas residuales, se debe a la que pueden contener reductores orgánicos e inorgánicos que consumen el oxígeno del medio acuoso (Nava, 2003). Otro estudio revela que el uso de aditivos como los superplastificantes actúan como reductores de agua explicando así por qué se encuentran valores tan elevados de la DQO (Ghrair et al., 2020).

Finalmente, uno de los valores que más llama la atención es el nivel de pH que resulta de este tipo de efluentes. En un estudio se determinaron aquellos factores que más influyen en los niveles de pH del agua, en donde la alcalinidad es el factor que más influye, junto con los sulfatos y los cloruros, alterando significativamente su valor (García, et al., 2019). La alcalinidad y el pH tiene una relación bastante estrecha. Los valores altos de alcalinidad en el hormigón se deben especialmente a la portlandita, que se forma durante la hidratación de compuestos anhidros presentes en el cemento y también a hidróxidos de potasio y sodio. La presencia de estas sustancias disueltas en el efluente de la fábrica por el lavado de patios y camiones son las principales causantes de los niveles tan elevados de pH y alcalinidad (Galán, 2011).

Valores muy altos o muy bajos de pH pueden llegar a causar la irritación de mucosas y órganos internos e incluso llegar a producir ulceraciones. Las aguas demasiado ácidas son capaces de disolver metales empleados en conducciones como el plomo, zinc y cobre, que al ser ingeridos pueden afectar la salud de los organismos vivos. Por otro lado, un nivel elevado de alcalinidad evita la solubilización de metales como el cobre y el zinc, los cuales en sus formas libres llegan a ser tóxicos para la vida acuática. La alcalinidad concede bases disponibles que formen complejos con el cobre y el zinc disminuyendo su toxicidad (Santos, 2011).

Debido a que ambas alcalinidades, tanto la determinación del efluente de las 6 am como de los 6 pm son mayores a las determinaciones de dureza total, se puede decir que se trata de una mayor concentración de dureza de tipo magnésica, lo cual concuerda con los resultados obtenidos, mostrando la asociación entre la alcalinidad y la dureza (Guerrero, Manjarrés & Núñez, 2003).

3.3. Tratamiento de aguas residuales previas a ser descartadas

A continuación, se presenta una revisión bibliográfica de las alternativas de tratamiento que pueden ser aplicadas a este tipo de aguas residuales.

Villacreses et al. (2009) explican como sedimentar este tipo de agua añadiendo desde 0,2 g/l hasta 2 g/l de sulfato de aluminio como agente floculante en agua proveniente del lavado de vehículos mixer de hormigón. Al final de este artículo se determinó que este tipo de aguas residuales no necesita de floculantes para poder definir 2 interfases.

Alvarado (2016), propone un tratamiento físico con el objetivo adicional de recuperar el agua empleada y elementos de mezcla. La sedimentación primaria, por medio de tanques de sedimentación, separa las partículas suspendidas en el agua, por acción de la gravedad, donde los sólidos se depositan al fondo y forman un manto de lodo, dejando el líquido en la parte superior. La filtración primaria es capaz de reducir los sólidos en suspensión y retener otras sustancias que no se lograron eliminar en la sedimentación primaria.

Existen métodos físicos y químicos de filtración donde se puede dar un transporte de partículas a través de poros o la adherencia de las partículas a granos del medio filtrante, respectivamente (Alvarado, 2016). Otro método utilizado es la deshidratación de lodos en donde lodos generados en la fabricación del hormigón reducen su contenido de humedad. Dejando un residuo sólido con una humedad menor al 70%. Uno de los métodos más económicos para lograr deshidratar estos lodos son los lechos de secado, que suelen estar formados por arena, grava, pavimento o poliuretano (medio artificial) como parte filtrante. Aquí el agua se evapora por radiación y convección, pero esta es más lenta y depende de factores como la temperatura, velocidad del aire y la humedad relativa. (Alvarado, 2016).

Gonzales (2019), propone un tratamiento con electrolisis para la eliminación de los sólidos disueltos, en donde se eliminan hasta el 93% de los sólidos disueltos utilizando un ionizador a 22 amperios.

Ghrair et. al (2020) determina que, al utilizar un sistema de filtración lenta en arena formado por capas compactas de arenisca y agregados de piedra caliza reduce de manera significativa la cantidad de sólidos, la DQO, DBO y los metales pesados de este tipo de efluentes.

Castro (2023) indica que, se puede eliminar los aceites y grasas, debido a que estos flotan por su densidad menor a la del agua y que pueden ser retirados por trampas de grasa. De igual manera, indica una neutralización del pH usando químicos y tanques resistentes a la corrosión. Manifiesta que este proceso de neutralización debe ser controlado por sensores de pH.

3.4. Reutilización del efluente generado en la industria del hormigón

Para evaluar la reutilización del efluente, es importante recordar los requisitos del agua de uso para la fabricación de hormigón de la INEN 2617: 2012 (Tabla 1). Si comparamos, los límites máximos de los requisitos de la INEN 2617:2012, con los resultados obtenidos al analizar el efluente (Tabla 9), se observa que el único parámetro que no está dentro de los límites máximos de la norma son los álcalis. Como la alcalinidad es una medida de todos los álcalis presentes en una muestra se tomó como referencia, para el cálculo de la alcalinidad ponderada, la alcalinidad total del agua cruda y la del agua residual generada a las 6 am y a las 6 pm para realizar un balance de masas.

Obteniendo como resultado que, para reutilizar el efluente de las 6 am, se tendría que utilizar un 30% de agua residual y un 70% de agua cruda y para reutilizar el efluente de las 6 pm, se tendría que utilizar un 5% de agua residual y un 95% de agua cruda. En cuanto a los otros parámetros, estos están se encuentran dentro de los límites establecidos por la INEN 2617:2012.

Además, hay diversos estudios que han demostrado que las propiedades del hormigón al utilizar el agua residual generada se ven mejoradas. Un estudio realizado en África demostró que, hormigones fabricados con 100% de agua reciclada mostraron tener un 8% más de resistencia, respecto al que se fabricaba con el agua municipal. También se demostró que no había diferencias significativas en la permeabilidad del hormigón fabricado con agua municipal o con agua reciclada. (Ekolu & Dawneerangen, 2010)

Su (2002), evalúa las propiedades del hormigón fabricado con agua de grifo, agua subterránea y agua reciclada del lavado de las mezcladoras. Se determinó que el hormigón fabricado con el agua de lavado tenía un menor tiempo de fraguado, pero también una menor fluidez, por el cemento residual que esta contenía. Se explica que este problema se podría solucionar con la adición de superplastificantes. También menciona que no existían diferencias significativas en cuanto a la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con agua de grifo o agua de lavado.

Otro estudio analiza el efecto de las aguas y lodos residuales de una planta de hormigón sobre las propiedades mecánicas y la microestructura del hormigón. Este estudio determinó que el agua residual generada por la planta puede utilizarse en la fabricación de hormigón y que su uso aumentaba la resistencia a la compresión del hormigón, en comparación con el hormigón fabricado con agua potable. (Chen et al., 2022)

Aunque existen diversos métodos y formas que se han desarrollado para realizar un tratamiento a las aguas residuales, producidas por la Industria hormigonera, también debe plantearse el hecho de que no todas las fábricas están dispuestas a invertir en el tratamiento de los efluentes que generan. Por eso que como alternativa se ha propuesto la reutilización del efluente generado en la fabricación de hormigón. La reutilización de las aguas residuales de lavado aporta una contribución económica a la fábrica, ya que su reutilización no requiere un tratamiento químico.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones

El objetivo general fue evaluar los efluentes generados en la producción hormigón. Se desarrollo un estudio base de los efluentes en donde se determinó los analitos problema según los límites de descarga del COA, los cuales fueron: pH, carbonatos, la demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos totales, sustancias solubles al hexano, aluminio, arsénico, cromo, hierro y manganeso. Pero, los álcalis son el único parámetro que no está dentro del límite de la INEN 2617:2012 del agua de mezcla para hormigón, el cual se tiene que modificar para poder reutilizar el efluente sin alterar de manera negativa sus propiedades.

El tratamiento más fácil a ejecutar para este tipo de fábrica, y uno de los más utilizados, es la sedimentación primaria por medio de sedimentadores. Este tratamiento tendría que ir acompañado de un lecho de filtrado para los lodos que se generen en el sedimentador que, según la bibliografía es uno de los métodos más baratos y fáciles de implementar.

4.2. Recomendaciones.

- La industria de hormigón y ETAPA deben realizar un monitoreo periódico del efluente para obtener resultados más representativos.
- Si es posible, ETAPA debería trabajar conjuntamente con la Industria para conocer todos los datos referentes a la fabricación del hormigón y el tipo de materias primas que se usan.
- Es importante que ETAPA intervenga en la descarga del efluente de esta industria, puesto que la Normativa a la cual se rige nuestro país está siendo incumplida.

REFERENCIAS

- ACI (American Concrete Institute) Committee 318. (2014). *Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*. Farmington Hills, MI.
- ACUMAR. (2020). *Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo*. 07/02/2020. Ciudad de Buenos Aires. Resolución 283/2019.
- Albis Mesa, Y. (2016). *Efectos de la materia orgánica del agua en la resistencia del concreto*. Universidad de Cartagena.
- Alvarado Valdivieso K. G. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la hormigonera de los Andes, Provincia Chimborazo*. [Tesis de grado. Escuela superior politécnica de Chimborazo]. Repositorio Espocho. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6472/1/96T00349.pdf>
- Archela, E., Carraro, A., Fernandes, F., Barros, O. N. F., & Archela, R. S. (2010). *Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos*. Geografía (Londrina), 12(1), 517–526. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2003v12n1p517>
- Basurto Basurto, G. y González Alfonzo, V. (2021). *Implementación de nanosílice para mejorar las propiedades mecánicas de un hormigón convencional con cemento portland tipo I aplicado en estructuras de hormigón armado en los Cantones de Santa Elena, La Libertad y Salinas, Provincia de Santa Elena*. [Tesis de grado. Universidad Estatal península de Santa Elena]. Repositorio digital UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6943>
- Chacón Chaquea, M. (2016). Capítulo 2: *Análisis gravimétrico en aguas*. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33952>
- Castro Coronel, B. R. (2023). *La Responsabilidad social en el manejo de las aguas residuales de Hormicenter-Javier Loyola-Ecuador*.
- Carvajal Toral Luis. (febrero 2014). *Balanceados Nova: Alcalinidad*. Recuperado de: <https://www.balnova.com/alcalinidad/>
- Carcavallo M. N. (2021). *Tratamiento de efluentes líquidos para planta productora de lubricantes y aditivos industriales*. [Tesis de grado. Universidad Nacional de San

Martín]. Repositorio digital UNSAM. <https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/1943/1/PFI%203IA%202021%20CMN.pdf>

Chen, X., Wu, J., Ning, Y. y Zhang, W. (2022). *Estudio experimental del efecto de las aguas residuales y lodos residuales de planta mezcladora sobre las propiedades mecánicas y la microestructura del hormigón*. Revista de Ingeniería de la Construcción, 52, 104307.

Chinchón-Payá, S., Torres, J., Rebolledo, N., & Sánchez, J. (2021). *Evaluación del estado de elementos estructurales del Mercado de Legazpi: Ataque por sulfatos al hormigón y corrosión de las armaduras*. Informes De La Construcción, 73(561), e380. <https://doi.org/10.3989/ic.76737>

COA. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Recuperado de: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

CROMTEK, 2020. *Así funciona un potenciómetro en el laboratorio*. Recuperado de: <https://www.cromtek.cl/2021/05/07/asi-funciona-un-potenciómetro-en-el-laboratorio/#:~:text=El%20Potencí%C3%B3metro%20funciona%20mediante%20un,de%20ellos%20en%20la%20soluci%C3%B3n>.

Sánchez de Guzmán, D. (2003). Durabilidad y patología del concreto. Colombia: ASOCRETO.

De la cruz Patín J. P. (2020). *Guía de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en hormigón armado mediante reactores biológicos y clarificador para las zonas rurales del cantón Rumiñahui*. [Tesis de grado. Universidad de las Américas] Repositorio digital UDLA. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4609/Mem%C3%b2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Ekolu, SO y Dawneerangen, A. (2010). *Evaluación de agua reciclada recuperada de una planta de concreto premezclado para su reutilización en concreto*. Revista de la Institución Sudafricana de Ingeniería Civil = Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese, 52 (2), 77-82.

Espigares García M. & Pérez López J. (2003). *Aguas residuales composición, centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua*. Recuperado de:

https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Fernández de Córdova Webster, CJ, & Rodríguez López, Y. (2016). *Primeros resultados de la red actual de monitoreo hidrometeorológico de Cuenca, Ecuador*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental/Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 37 (2), 44–56. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000200004

Flores-Alés, V., Martín-del Río, J. J., Blasco-López, F. J., & Alejandre, F. J. (2015). *Análisis de impactos ambientales producidos durante la fase de ejecución en edificación: operaciones de limpieza y recuperación de aguas de lavado de hormigones en España*. Informes De La Construcción, 67(538), e091. <https://doi.org/10.3989/ic.14.031>

Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jiménez Moleón, M. D. C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.

Gamboa de León Régil O. E. (2005). *Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm², caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2*. [Tesis de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio digital USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1468_IN.pdf

Ghrair, A.M., Heath, A., Paine, K., & Al Kronz, M., *Waste Wash-Water Recycling in Ready Mix Concrete Plants.*, Environments, Vol. 7, No. 12, 2020, pp. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/environments7120108>

Galán García Isabel. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. [Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid]. ISBN: 978-84-695-0996-8

García, Aura Navas de, Gil, Rosa E. Reyes, & Rico, Luis E. Galván. (2015). *Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto*. Enfoque UTE, 6(4), 67-80. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.79>

- García, S. L., Arguello, A., Parra, R., & Pilay, M. P. (2019). *Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal*. INNOVA Research Journal, 4(2), 59-71.
- Gonzales, H. (2019). *Aplicación del tratamiento de electrolisis y su impacto en la eficiencia de remoción de nitratos y sólidos disueltos totales en aguas subterráneas de fuentes fijas obtenidas por la empresa Aqua Noa, Pachacamac, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio de la UAP. https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/8946/tesis_Electrolisis_remoci%c3%b3n.Nitratos%20y_s%c3%b3lidosDisueltos_aguasSubterr%c3%a1neas_obtenidasXEmp.AquaNoa_Pachacamac.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A. y Núñez-Padilla, N. (2003). *Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua*. Acta Biológica Colombiana, 8(2), 43–55. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/26670>
- Hougen, Watson, K. M., Ragatz, R. A., & Herráez, M. A. (1975). *Principios de los procesos químicos. Parte I, Balances de materia y energía*. Reverté.
- Jiménez Heinert, M., Grijalva Endara, A., & Ponce Solórzano, H. (2020). *Plasma acoplado inductivamente en espectroscopía de emisión óptica (ICP-OES)*. RECIMUNDO, 4(4), 4-12. doi:10.26820/recimundo/4. (4). Octubre.2020.4-12
- Julián-Soto, F. (2010). *La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias*. Ingeniería, investigación y tecnología, 11(2), 167-177. Recuperado en 12 de julio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004&lng=es&tlng=es.
- KALSTEIN FRANCE – SIREN, 2021. *Conductímetro o medidor de conductividad: ¿Cómo debe ser empleado?* Recuperado de: <https://kalstein.ec/conductivimetro-o-medidor-de-conductividad-como-debe-ser-empleado/>
- Marcial Matías H. N. & Navarrete Mata I. F. (2022). *Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 mpa, 24 mpa y 28 mpa con adición de nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%*. [Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio digital UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8434/1/UPSE-TIC-2022-0026.pdf>

Miller, SA, Horvath, A. & Monteiro, PJM. (2018). *Impactos del auge de la producción de hormigón sobre los recursos hídricos en todo el mundo*. Nat Sustain 1, 69–76. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>

<https://www.nature.com/articles/s41893-017-0009-5>

Ministerio del Ambiente. (s. f.). *El Código Orgánico del Ambiente*. Recuperado de: [https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/#:~:text=El%20Ministerio%20del%20Ambiente%20\(MAE,de%20la%20sociedad%20puedan%20brindar](https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/#:~:text=El%20Ministerio%20del%20Ambiente%20(MAE,de%20la%20sociedad%20puedan%20brindar).

Nava Vera, C.Z. (2003). *Caracterización y evaluación de los lixiviados de residuos de construcción, pétreos, cerámicos y de hormigón*. [Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla]. Sevilla.

Nemerow Nelson & Dasgupta Avijit. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid: Ediciones Días de Santos, 1998.

NTE INEN 974: 2016. *Agua potable. determinación de la dureza total por titulación con EDTA*. Recuperado de: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-974-AGUA-POTABLE--DETERMINACI%C3%93N-DE-LA-DUREZA-TOTAL-POR-TITULACI%C3%93N-CON-EDTA.pdf?x42051>

NTC 3459, 2001. *Concretos. Agua para la elaboración de concreto*. Recuperado el 16 de junio del 2023 de: <https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-3459/>

NTP 339.088, 2019. *Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos*. Recuperado el 16 de junio del 2023 de: <https://pdfcoffee.com/ntp-339088-aguas-5-pdf-free.html>

N-CMT-2-02-003/0. *Características de los materiales. Materiales para estructuras. Materiales para concreto hidráulico, Calidad de agua para Concreto Hidráulico*. Recuperado el 16 de junio del 2023 de: <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-003-02.pdf>

NWA 1998. *National Water Act, Act No 36 of 1988*. Recuperado de: https://www.dws.gov.za/Documents/Legislature/nw_act/NWA.pdf

NTE INEN 2617: 2012. *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos*. Recuperado de: <https://archive.org/details/ec.nte.2617.2012/page/n1/mode/2up>

- NTE INEN 1762: 2014, *Hormigones. Definiciones y terminología*. Recuperado de:
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1762-1.pdf>
- INEN 1107:2013. Agua. *Determinación de calcio. método EDTA*. Recuperado de:
<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1107-AGUAS.-DETERMINAC%C3%93N-DEL-CALCIO.-M%C3%89TODO-EDTA.pdf?x42051>
- INEN 1202:2013. Agua. *demand a bioquímica de oxígeno (DBO5)*. Recuperado de:
<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1202-AGUAS.-DEMANDA-BIOQU%C3%8DMICA-DE-OX%C3%8DGENO-DBO5.pdf?x42051>
- Pauta G., Velasco M., Gutierrez D., Vazquez G., Rivera S., Morales O & Abril A., (2019). *Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador*. MASKANA, Vol. 10, No. 2, 76–88, 2019. doi: 10.18537/mskn.10.02.08
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/2670>
- Padilla, J. V., Jiménez, B. C., Brenes, J. P. S., Delgado, J. S., & Castro, E. R. (2017). *Contenido de metales pesados y composición química de los cementos hidráulicos de uso general comercializados en Costa Rica*. Ingeniería, 27(1), 75-95.
- Pérez-López, Esteban. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica*. Revista Tecnología en Marcha, 29 (3), 3-14. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Romero, MC y Pastorino, LF (2014). *El control de la contaminación del agua por vertidos industriales en la provincia de Buenos Aires*. Congreso Internacional de Códigos y Desafíos para Enfrentar la Crisis del Agua (La Plata, 2014).
- Reynolds, K. A. (2001). *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica*. Latinoamérica, 2001: 4849.
- Rubio Aranda A. (2007). *Los aditivos del mundo del hormigón*. [Tesis de grado]. Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio digital UPC.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4609/Mem%C3%b2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24 Edition año 2023.
- SANS 51008, 2006. *Mixing water for concrete — Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in*

the concrete industry, as mixing water for concrete. Recuperado el 16 de junio del 2023 de: <https://es.scribd.com/document/331512817/Sans-51008>

United States Environmental Protection Agency. (2004). *Cement Manufacturing point source category.* Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/index.html>

Silva R., Cadorin L. & Rubio J. (2010). *Sulphate ions removal from an aqueous solution: I. Co-precipitation with hydrolysed aluminum-bearing salts.* Miner. Eng. doi: 10.1016/j.mineng.2010.08.016.

Su, N., Miao, B. y Liu, FS (2002). *Efecto del agua de lavado y agua subterránea en las propiedades del hormigón.* Investigación sobre cemento y hormigón, 32 (5), 777-782.

Tito F., Córdova Rodríguez, Rodríguez Heredia, Arias-Lafargue, Salazar Arrastre, Plácida M., & Bessy. (2021). *Evaluation of residual liquor from precast and premix company of Santiago de Cuba.* Centro Azúcar, 48(4), 42-52. Epub 01 de octubre de 2021. Recuperado en 15 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000400042&lng=es&tlng=en.

Yassi Annalee, Kjellstrom Tord, de Kok Theo & Guidotti Tee. (2002). *Salud Ambiental Básica.* Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. [https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/38758918/salud_ambiental-libre.pdf?1442207256=&response-content-disposition=inline%3B+FileNa](https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/38758918/salud_ambiental-libre.pdf?1442207256=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3B+FileNa)

7fvBquonMre ~ 17bfn9eSKeHC ~
GLCSLN5VAGR0BVMFSVMZAJJJTZXBN0GHBQSJLSRIRQBP1SEXESSE
ASSOJOS IPJ7XPJNLVBZDKE8- bRhW8SeXB~lcv-e-

