



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA
CEMENTERA, PROVINCIA DE IMBABURA”.**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORES: NATUTA YÉPEZ JORGE LUIS
POTOSÍ POTOSÍ YESENIA IRENE.

DIRECTOR: MSc. OQUENDO ANDINO JORGE RENATO.

IBARRA - ECUADOR

Septiembre, 2018

DATOS GENERALES

**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA CEMENTERA,
PROVINCIA DE IMBABURA.**

FACULTAD: INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA: INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TIPO DE TRABAJO DE GRADO:

- INVESTIGACIÓN BÁSICA
- INVESTIGACIÓN APLICADA
- INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOTECNOLOGÍA, ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

LUGAR DONDE SE REALIZARÁ: EL CORAZÓN DE PERUGACHI, SAN JOSÉ DE QUICHINCHE, OTAVALO, IMBABURA.

FECHA DE INICIO: DICIEMBRE, 2016

AUTORES: NATUTA YÉPEZ JORGE LUIS
POTOSÍ POTOSÍ YESENIA IRENE.

DIRECTOR: MSc. OQUENDO ANDINO JORGE RENATO

SUPERVISOR/A:

ASESORES: MSc. LÉON ESPINOZA MÓNICA EULALIA
PhD. MONCADA RANGEL JOSE ALI
PhD. GARCÍA MONTTOYA JUAN CARLOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**“EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA
CEMENTERA, PROVINCIA DE IMBABURA”.**

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

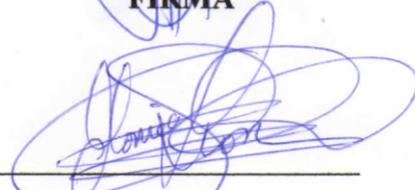
APROBADA:

MSc. Renato Oquendo
DIRECTOR



FIRMA

MSc. Mónica León
ASESOR



FIRMA

PhD. José Alfí Moncada
ASESOR



FIRMA

PhD. Juan Carlos García
ASESOR



FIRMA

IBARRA - ECUADOR

SEPTIEMBRE, 2018

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003623947	
APELLIDOS Y NOMBRES	Natuta Yépez Jorge Luis	
DIRECCIÓN:	San Antonio – Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	jnatuta@gmail.com	
TELÉFONO FIJO: 2933230	TELÉFONO MÓVIL:	0985481775

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1002810321	
APELLIDOS Y NOMBRES	Potosí Potosí Yesenia Irene	
DIRECCIÓN:	San Antonio – Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	yeseniapotosi2@gmail.com	
TELÉFONO FIJO: 2933347	TELÉFONO MÓVIL:	0985847038

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, PROVINCIA DE IMBABURA
AUTORES:	Natuta Yépez Jorge Luis Potosí Potosí Yesenia Irene

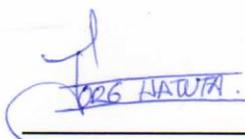
FECHA:	06 de Septiembre del 2018
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	MSc. Renato Oquendo

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de septiembre de 2018.

LOS AUTORES


 Natuta Yépez Jorge Luis


 Potosí Potosí Yesenia Irene

AGRADECIMIENTO

Ninguna persona logra el éxito sin ayuda de los demás y por ello mi eterna gratitud a quienes fueron fuente de ayuda para que este trabajo culmine.

Un agradecimiento especial a la Universidad Técnica del Norte que nos abrió las puertas para crecer como personas y formarnos como profesionales, de la misma manera aquellas personas que aportaron y apoyaron para que se realice este trabajo con éxito como: MSc. Renato Oquendo, PhD. Juan Carlos García, PhD. José Alí Moncada, MSc. Mónica León, miembros del tribunal, por dedicar su valioso tiempo, guiarnos y orientarnos con su conocimiento y profesionalismo, para culminar de la mejor manera esta investigación. Un agradecimiento muy especial a la MSc. Verónica Ríos por dedicarnos su tiempo y esfuerzo, más que una docente se convirtió en una amiga enriqueciéndonos de su calidez humana y profesional.

Un profundo agradecimiento a todas las personas que conforma la Industria cementera de la provincia de Imbabura, en especial al Ing. Patricio Díaz, Ing. María Gabriela Salazar, Ing. Silvana Báez, quienes apoyaron con la apertura, materiales e insumos además de calidad humana y profesional para que se efectuó esta investigación, a través de la gerencia de ecología industrial, ambiente y relaciones comunitarias.

Yesenia Potosí & Jorge Natuta

DEDICATORIA

A:

Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía durante todo el periodo académico.

Mi madre María Yépez, a mi padre Fernando Natuta por brindarme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por sus consejos, su infinito amor y comprensión. Mamá y Papá todo esto se lo debo a ustedes.

Mi hermano Anthony por darme fuerzas para seguir adelante a pesar de las adversidades, para que veas en mi un ejemplo a seguir.

Mi tía Lourdes Yépez y a Danny Reascos por siempre guiarme, darme su amor y su apoyo.

A mi abuelita Enma Placencia por siempre cuidarme, apoyarme y sobre todo por darme su amor.

Todos aquellos familiares y amigos que siempre me apoyaron cuando más necesité.

Finalmente quiero dedicar este trabajo de investigación a mi novia, ya que ha sido un pilar fundamental para la culminación de este trabajo, por haberme dedicado todo su amor, su tiempo, sus consejos, su apoyo en los momentos más difíciles.

Jorge Luis Natuta

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para Dios por ser mi soporte ante las adversidades y mi consuelo ante las decepciones, su amor y bondad no tienen fin, mis logros son los resultados de su ayuda.

A mis padres, mi pilar fundamental Aurelio Potosí y Piedad Potosí que, con su infinito amor, ejemplo, esfuerzo, comprensión y apoyo incondicional, logré salir adelante, son mi inspiración de luchar día a día, además de enseñarme que los sueños se hacen realidad con sacrificio y perseverancia, el título es para mí, pero el aplauso es de ellos.

A mis hermanos Lizbeth y Wilson, porque juntos hemos superado los obstáculos que nos ha puesto la vida, han sido mi apoyo y motivación para no rendirme jamás.

A mis familiares que confiaron y creyeron en mí, en especial a mi tía Laury que con sus consejos y amor se convirtió en mi segunda mamá, a mi abuelito Vicente que desde el cielo siempre cuida de mí.

A mi novio con el que empezamos juntos esta carrera llena de aventuras, experiencias, aciertos y desaciertos, juntos crecimos como personas y ahora como profesionales.

A mis amigos con los que iniciamos esta etapa universitaria, a los que conocí en el camino y a los que ya no están con nosotros, por las anécdotas vividas y siempre recordadas.

Yesenia Potosí

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
DATOS GENERALES	I
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
RESUMEN	XIII
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contextualización	1
1.2. Problema de investigación.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Pregunta directriz de la investigación.....	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
CAPITULO II	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.1.1. Estudios de casos	6
2.2. Marco teórico.....	8
2.2.1. Huella hídrica	8
2.2.2. Componentes de la huella hídrica.....	12
2.2.2.1. Huella hídrica azul	12
2.2.2.2. Huella hídrica verde	14
2.2.2.3. Huella hídrica gris	16
2.2.3. Huella hídrica total	19
2.3. Marco legal.....	19
2.3.1. Constitución Política de la República del Ecuador.	20

2.3.2.	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua.	21
2.3.3.	Código Orgánico del Ambiente (COA)	21
2.3.4.	Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021	23
CAPITULO III		24
3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Tipo de investigación	24
3.2.	Descripción del área de estudio	24
3.3.	Materiales y métodos	26
3.3.1.	Fase 1: Caracterización de las actividades desarrolladas por la industria cementera	27
3.3.2.	Fase 2: Evaluación del agua requerida.	28
3.3.2.1.	Evaluación de la calidad	28
3.3.2.2.	Evaluación de la cantidad	28
3.3.3.	Fase 3: Estimación de la huella hídrica	29
3.4.	Consideraciones bioéticas	30
CAPITULO IV		31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1.	Fase 1: Caracterizar las actividades desarrolladas en la industria cementera....	31
4.1.1.	Proceso de producción	33
4.1.2.	Autogeneración de energía eléctrica	42
4.1.2.1.	Descripción de la central termoeléctrica de la planta industrial cementera.	42
4.1.3.	Caracterización de consumos adicionales	43
4.1.3.1.	Agua de consumo humano	43
4.1.3.2.	Áreas verdes	44
4.1.4.	Piscina de recirculación	44
4.2.	Fase 2: Evaluación del agua requerida	45
4.2.1.	Calidad de agua de proceso	45
4.2.2.	Calidad de agua de consumos adicionales	46
4.2.3.	Resultados de los análisis de calidad de agua requerida en la industria cementera.	46

4.2.4.	Cantidad de agua en el proceso de producción.....	47
4.2.5.	Análisis de la cantidad de agua requerida en el proceso de producción de cemento	51
4.2.6.	Análisis de los resultados	52
4.2.7.	Cantidad de agua en consumos adicionales.....	53
4.2.8.	Análisis de la cantidad de agua de consumos adicionales.....	54
4.3.	Fase 3: Estimación de la huella hídrica y optimización del recurso hídrico	55
4.3.1.	Estimación huella hídrica azul.....	55
4.3.2.	Estimación huella hídrica verde	56
4.3.3.	Estimación huella hídrica gris	57
4.3.3.1.	Análisis de los parámetros (DBO ₅ , DQO y sólidos totales), año 2017	58
4.3.4.	Estimación de la huella hídrica total.....	59
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1.	Conclusiones.....	61
5.2.	Recomendaciones	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS	67
	Anexo 1. Entrevista acerca de la caracterización de las actividades desarrolladas en la industria cementera.....	67
	Anexo 2. Cadena de custodia de muestras de agua	72
	Anexo 3. Protocolo de muestras	73
	Anexo 4. Resultado de análisis de aguas de entrada agua de proceso.....	78
	Anexo 5. Resultado de análisis de aguas de salida agua de proceso.	81
	Anexo 6. Resultado de análisis de entrada de agua de consumos adicionales.....	84
	Anexo 7. Resultado de análisis de descarga de agua de marzo del 2017	86
	Anexo 8. Resultado de análisis de descarga de agua de septiembre del 2017	93
	Anexo 9. Valores de evapotranspiración	99
	Anexo 10. Mapa de ubicación de los sensores capacitivos “Water Level Logger”	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica	9
Figura 2. Cuadro de las distintas fases en la evaluación de la huella hídrica.....	10
Figura 3. Ubicación del área de investigación.....	25
Figura 4. Diagrama ombrotérmico (Otavalo)	26
Figura 5. Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en la industria de elaboración de cemento.....	32
Figura 6. Planta industrial cementera de la provincia de Imbabura	33
Figura 7. Flujograma de procesos	34
Figura 8. Almacenamiento de materias primas (arcilla, yeso, caliza).....	35
Figura 9. Bandas transportadoras de materias primas, tolvas de almacenamiento.....	36
Figura 10. Silo de homogenización.	37
Figura 11. Horno rotatorio.....	38
Figura 12. Molienda y almacenamiento de clinker	40
Figura 13. Silos (Almacenamiento de cemento)	41
Figura 14. Ensacado, despacho y transporte del cemento	41
Figura 15. Central termoeléctrica de la planta cementera	42
Figura 16. Áreas verdes en la industria cementera.....	44
Figura 17. Piscina de recirculación.....	45
Figura 18. Diagrama de flujo de la ubicación de puntos de muestro para la evaluación del agua de proceso industrial	48
Figura 19. Ubicación del sensor capacitivo para el registro de carga de agua sobre el vertedero triangular.....	49
Figura 20. Ubicación del sensor capacitivo para el registro de carga de agua sobre el vertedero rectangular	50
Figura 21. Caudal medio mensual $Q = (l/s)$	52
Figura 22. Diagrama de flujo de la ubicación del punto de muestro para la evaluación del agua de consumos adicionales.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Independencias de consumo indirecto de agua	43
Tabla 2. Análisis de agua de la industria cementera, provincia de Imbabura	47
Tabla 3. Relación entre los caudales de Recirculación/ Captación y Descarga/Captación	53
Tabla 4. Agua captada, consumida en la producción y descarga	53
Tabla 5. Dotaciones para edificaciones de uso específico.....	55
Tabla 6. Dotación de agua consumida por m ³ /trabajador/jornada.....	55
Tabla 7. Estimación de la huella hídrica azul.....	56
Tabla 8. Estimación de la huella hídrica verde.....	57
Tabla 9. Resultados de los parámetros de calidad de agua a ser evaluados	57
Tabla 10. Resultados de la huella hídrica gris	58
Tabla 11. Comparación de análisis de agua de descarga.....	58
Tabla 12. Comparación de resultados de la investigación con otros estudios.....	60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Huella hídrica azul.....	13
Ecuación 2. Huella hídrica verde.....	14
Ecuación 3. Twornthwaite.....	16
Ecuación 4. Huella hídrica gris.....	17
Ecuación 5. Huella hídrica total	19
Ecuación 6. Caudal sobre un vertedero triangular.....	49
Ecuación 7. Caudal sobre un vertedero rectangular de pared delgada	50

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA CEMENTERA,
PROVINCIA DE IMBABURA.

RESUMEN

Las industrias son grandes contaminadores del recurso hídrico a nivel mundial. En Ecuador, en el año 2010, la industria cementera fue la actividad que más aportó a la economía del país. Por esta razón se ha visto la necesidad de evaluar la cantidad y calidad del agua utilizada en la industria cementera, con el objeto de optimizar el uso de este recurso. Al hablar de optimización del recurso hídrico, podemos referirnos a la evaluación de la huella hídrica, que permite determinar el volumen total de agua dulce consumida directa o indirectamente en la elaboración de un producto, cuenta con tres componentes: huella azul, verde y gris. Esta investigación comprende la evaluación de la huella hídrica de la industria cementera ubicada en la provincia de Imbabura, y fue realizada en tres fases según la metodología propuesta por Hoekstra (2011): caracterización, evaluación del agua requerida, y estimación de la huella hídrica. Como resultados se obtuvo que: de los diez procesos de producción de cemento, seis consumen agua de manera directa; los análisis de calidad de agua realizados indicaron que los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles; el proceso de recirculación de agua ayuda a disminuir la huella gris; y finalmente se obtuvo que la huella hídrica de la industria cementera es de $0.89 \text{ m}^3/\text{T}_{\text{cemento}}$, siendo la huella azul la más relevante, mientras que los valores de huella verde y gris fueron despreciables.

Palabras claves: huella hídrica azul, huella hídrica verde, huella hídrica gris, industria cementera, recirculación, calidad de agua, cantidad de agua.

ABSTRACT

Industries are great consumers and polluters of water resources worldwide. In Ecuador, in 2010 the cement industries were the activity that contributed, the most to the county's economy. This drives the need for an evaluation of the amount and quality of water used in the cement industry, with the aim of optimizing the use of this resource. When discussing about the optimization of water resource, we can state the evaluation of the water footprint, which allows to determinate the total volume of freshwater consumed directly or indirectly in the production of a product. It comprises three essential components which are: blue, green and gray print. This research pursues to evaluate the water footprint in the cement industry in Imbabura province, which was made in three phases according the methodology suggested by Hoekstra (2011). Such as characterization, required water evaluation and estimation of water footprint. The result showed that, from ten cement production processes, six consume water directly; The analysis of the water quality depicted that the parameters are within the allowed limits; the process of recirculating water helps to reduce the gray footprint; and finally the water footprint in the cement industry is $0.89 \text{ m}^3/\text{T}_{\text{cement}}$, in which the blue footprint being the most significant, while the green and gray footprint values were insignificant.

Key words: Blue water footprint, green water footprint, gray water footprint, cement industry, recirculation, water quality, amount of water.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contextualización

El planeta Tierra está cubierto cerca del 75% por agua, siendo apenas el 1% apta para el consumo. Esto la convierte en un recurso fundamental para la sobrevivencia humana, posee una capacidad ambiental limitada de regenerarse, a consecuencia del mal manejo de los recursos naturales, del crecimiento demográfico acelerado y del modelo actual de desarrollo no sostenible. El deterioro ambiental a nivel global ha puesto en riesgo principalmente a los recursos naturales no renovables. El crecimiento demográfico actual ha generado un mayor requerimiento de servicios y utilización de recursos, los mismos que requieren de grandes fuentes de energía, así como el desarrollo de procesos industriales que en su mayoría generan subproductos contaminantes que ponen en riesgo el equilibrio ecológico de ecosistemas frágiles (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2011).

Existen factores que pueden colocar al planeta en un agotamiento total de los recursos naturales no renovables, como son: el crecimiento desmesurado de la población, la contaminación, la inadecuada gestión de los recursos y el cambio climático afectando principalmente a los recursos hídricos (Arteta. *et al.*, 2008). Los ecosistemas acuáticos (ríos, quebradas y esteros) son fuertemente afectados por las descargas y emisiones de contaminantes industriales. Para el año 2011, la Organización de las Naciones Unidas determinó que el sector industrial utilizaba cerca del 20% del agua dulce extraída a nivel mundial, incluyendo el agua destinada a la generación de energía hidráulica, nuclear, energía termoeléctrica y procesos industriales; mientras que, proyecciones realizadas por esta misma organización para el año 2015, encontraron que el consumo de agua dulce en el sector industrial, fue del 24%. La industria es uno de los mayores contaminantes de los recursos hídricos, anualmente vierte entre 300 y 500 millones de toneladas de metales pesados, disolventes, lodos tóxicos, entre otros residuos (ONU, 2011).

El agua contaminada se transfiere a la cadena trófica mediante su uso en la agricultura, por captación directa de las plantas o la vida animal. En los países en vía de desarrollo, el 70% de los residuos industriales se vierten a las aguas sin tratamiento alguno, contaminando aguas superficiales o subterráneas por los vertidos sin depurar de líquidos contaminantes de origen industrial, urbano y agrícola (Gil, *et al.*, 2005). Hughes (1997) afirma que “Ningún país podrá ser económica o socialmente estable sin una provisión de agua segura”. La contaminación y el cambio climático son las principales causas que afectan a la calidad y la cantidad de agua disponible para el ser humano, por lo tanto, la disponibilidad del agua dulce está limitada por la contaminación (Gait & Pierotto, 2010).

Es relevante aclarar el denominado “concepto de agua” que se debate entre ser un bien social ligado al derecho de la vida o una mercancía de lucro. En base al primer concepto, surge la necesidad de aplicar sistemas de gestión ambiental enfocados en la conservación del recurso hídrico. En este sentido, la huella hídrica nace como un indicador de sostenibilidad que permite identificar las relaciones causa-efecto a nivel socio-ambiental del uso del recurso hídrico, siendo las actividades socioeconómicas los principales factores de presión sobre los recursos naturales (Arévalo, Lozano & Sabogal, 2011). El concepto de huella hídrica es relativamente nuevo y abarca los conceptos de agua virtual, huella ecológica y huella de carbono. El principal antecedente es la huella virtual que se define como el volumen de agua requerido para producir un producto o servicio (Hoekstra & Chapagain, 2007).

1.2. Problema de investigación

En Ecuador, la contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas son los mayores problemas que afectan al desarrollo sostenible, el cual se ve cada vez más vulnerable debido al aumento de la población, la creciente demanda del recurso agua, al incumplimiento de las normas ambientales y a la falta de aplicación de sanciones rigurosas en contra de quienes ocasionan daños ambientales. La calidad del agua se ve afectada principalmente por: 1) el vertido directo de las aguas residuales sin previo tratamiento, 2) la mala disposición final de los residuos sólidos (botaderos a cielo abierto), y 3) la presencia de agroquímicos y nutrientes en los cuerpos de agua,

que son arrastrados por la escorrentía desde los asentamientos poblacionales y las zonas en donde se desarrollan actividades industriales y agropecuarias, hacia la parte baja de las cuencas (ONU, 2011).

La industria manufacturera, después del comercio, es el sector que más aporta a la economía del país. En Ecuador, el cemento es la principal materia prima para la construcción. En el año 2010, la industria cementera fue catalogada como la cuarta actividad más importante para el desarrollo del país, esto se debe a que conjuntamente con el incremento de la oferta inmobiliaria para la satisfacción de las necesidades de vivienda de los ecuatorianos, en el país se utiliza hormigón como materia principal en la construcción de infraestructura (Dueñas, 2012).

Algunas de las actividades ejecutadas en el proceso de producción de cemento son causantes del deterioro del recurso hídrico. En este sentido, la evaluación de la huella hídrica de la industria cementera permitirá cuantificar el volumen de agua que se consume en la producción de cemento y determinar la calidad con que retorna el agua a la cuenca hidrológica, estableciendo el impacto de la industria cementera en el recurso hídrico.

Los resultados obtenidos en la presente investigación podrán ser utilizados posteriormente como línea base para el establecimiento de medidas para el uso eficiente del recurso hídrico en la industria cementera y la generación de políticas de manejo y protección del agua a nivel industrial.

1.3. Justificación

En Ecuador, la gestión del recurso hídrico es una tarea prioritaria y permanente que debe realizarse en todo el territorio nacional, enfatizando su uso eficiente, protección, conservación y el buen aprovechamiento especialmente por parte del sector industrial. La industria cementera de la provincia de Imbabura con el objeto de evaluar el impacto ambiental que genera sus actividades en el recurso hídrico, decidió realizar un estudio de evaluación de la huella hídrica en la producción de cemento.

Los resultados obtenidos, en cuanto cantidad, calidad y huella hídrica servirán como línea base para la generación de políticas internas empresariales para la optimización y el buen manejo del recurso hídrico mediante la ejecución de buenas prácticas ambientales en el sector empresarial.

La presente investigación se enmarca en el del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Objetivo N° 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones. Ecuador al ser un país mega diverso, tanto la calidad ambiental, como los derechos de la naturaleza, deben ser prioridades para las grandes definiciones políticas, económicas y productivas, contribuyendo a la disminución del cambio climático, además de garantizar la conservación y el mantenimiento del patrimonio natural (Plan Nacional de Desarrollo [PND], 2017-2021).

Bajo esta perspectiva, el uso adecuado de los recursos naturales, la capacidad regenerativa y la asimilación de la naturaleza, aportan a la conservación y uso sostenible de los ecosistemas generadores de agua (bosques, páramos, humedales), manteniendo el caudal ecológico de ríos, acuíferos y vertientes, convirtiéndose en principales fuentes para el consumo humano, riego y proyectos hidroeléctricos. Con estos antecedentes es importante consolidar la gestión integrada de los recursos hídricos desarrollando mecanismos de compensación y declaratorias de áreas de protección hídrica con la finalidad de proteger, conservar y preservar un recurso natural no renovable para la actual generación y futura (PND, 2017-2021).

La Política: 3.2 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 establece la distribución equitativa del acceso al patrimonio natural, así como los beneficios y riqueza obtenidos por su aprovechamiento, y promueve la gobernanza sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables. Esta política permitirá mejorar el manejo de los recursos naturales renovables y no renovables; disminuyendo la contaminación en todas sus etapas. La intervención emblemática para el eje I, literal 5.- se refiere al agua segura para todos. Esta intervención busca manejar y aprovechar el recurso hídrico mejorando el acceso, calidad y cantidad a su vez comprometer a todos los actores sociales en su cuidado y uso responsable, el agua segura para todos permitirá

desarrollar en la población una cultura adecuada para el cuidado del agua además de proponer estrategias para mejorar la sostenibilidad (PND, 2017-2021).

Por otro lado, el lineamiento estratégico: a.8.- establece el control de las descargas de efluentes de aguas servidas, domésticas e industriales y de la descarga de vertidos de buques, de tal manera que aseguren el cumplimiento de los parámetros establecidos por la correspondiente legislación nacional, sectorial e internacional. Este lineamiento precautelaré y dará cumplimiento a la ley ambiental vigente en el Ecuador, con la finalidad de proteger los ecosistemas acuáticos (PND, 2017-2021).

1.4. Pregunta directriz de la investigación

¿Cuál es la huella hídrica en la producción de cemento de la planta industrial en la provincia de Imbabura?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la huella hídrica en las actividades desarrolladas de la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las actividades desarrolladas de la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura.
- Evaluar la calidad y cantidad de agua requerida en la producción de cemento y consumos adicionales.
- Estimar la huella hídrica de la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se hace un compendio de varios estudios existentes relacionados con la evaluación de la huella hídrica en la industria cementera. Además, se lleva a cabo una revisión de los antecedentes, aspectos teóricos y legales sobre los cuales se respalda este trabajo de investigación, referentes a la estimación de la huella hídrica en la industria cementera.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Estudios de casos

En la planta Río Claro de cementos del grupo ARGOS S.A, ubicada en Medellín-Colombia, se realizó un estudio para la estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y se presentó la propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico. Dicho estudio estimó el valor de la huella hídrica azul, verde y gris, en los procesos de extracción de minerales, producción de cemento, autogeneración de energía y procesos auxiliares, basándose en la metodología de Water Footprint Network. Los resultados obtenidos indicaron que el mayor impacto proviene de la huella hídrica azul con un 96.74%, en relación al 1.71% de la huella verde y al 1.55% de la huella gris; obteniendo una huella hídrica total de 3.33 m³/Tn de cemento (Echeverry, 2014).

La compañía Unión Andina de Cementos UNACEM S.A.A, de Perú, realizó una investigación sobre huella hídrica, tanto para la planta de Atocongo ubicada en Lima, como para planta Condorcocha ubicada en Junín. Este estudio se ejecutó bajo los lineamientos de la norma ISO 14046, considerando criterios de calidad y cantidad de agua (Cueto, 2016), empleando el enfoque de Pfister, metodología que se emplea en zonas desérticas o con escasez de agua y que se basa en el consumo de agua subterránea y superficial, estimando únicamente el consumo de agua azul.

Los consumos por uso directo de agua de la compañía UNACEM Perú, están representados principalmente por consumo doméstico de oficinas, campamentos; y agua evapotranspirada, por el riego de áreas verdes y vías de acceso, mientras que los consumos indirectos lo conforman la cadena de suministros, representados principalmente por las bolsas de papel utilizadas para empaquetar el cemento, la caliza, y el yeso (Cueto, 2016).

El estudio concluyó que en la industria UNACEM de Atoncogo, el mayor consumo de agua y mayor impacto de huella hídrica, están relacionados con el uso de electricidad y carbón como fuente de energía con un 67%, mientras que el 29% se consume en la cadena de suministro y 4% en consumo indirecto. Por otro lado, en UNACEM de Condorcocha, se consume el 82% en energía y transporte, 13% se consume en cadena de suministros y 5% en consumo indirecto. Se estimó un total de 2.10 m³ /Tn de cemento para UNACEM Atoncogo y 2.29 m³/Tn de cemento para UNACEM de Condorcocha (Cueto, 2016).

Otro caso de estudio es el realizado en Boyacá-Colombia, por parte del grupo Holcim, que se dedica al suministro de cemento, áridos, así como materiales para la elaboración de hormigón. Aclarando que el valor numérico no se encuentra disponible para el público en general, este estudio hace énfasis solo en la metodología. Se toma en cuenta la producción de cemento desde la cuna a la puerta de la planta industrial cementera, excluyendo transporte y empaques (Huella hídrica en el marco del Análisis del Ciclo de Vida) (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [Suizagua], 2015).

La evaluación de la huella hídrica en Boyacá - Colombia se desarrolló tomando en cuenta la metodología de la ISO 14046:2014, que se refiere a los principios y fundamentos de la huella hídrica como el alcance, evaluación de calidad y cantidad de agua, así como una propuesta para la gestión adecuada del recurso hídrico. Se contó con la participación directa del personal de las empresas involucradas y con el apoyo científico de una consultora especializada en análisis del ciclo de vida y huella hídrica (Suizagua, 2015).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Huella hídrica

La denominada huella de agua o huella hidrológica tiene sus orígenes en la necesidad de encontrar la relación entre las actividades humanas, el uso del agua, y entre el comercio mundial y la gestión de los recursos hídricos (Hoekstra & Chapagain, 2007). Hoekstra & Hung (2002) introducen el término de huella hídrica con el propósito de desarrollar un indicador basado en el consumo de agua dulce, el cual se define como “el volumen total de agua dulce consumida directamente e indirectamente por una nación o una empresa en la producción de un bien o servicio”.

Ercin & Hoekstra (2012) afirman que la huella hídrica es un indicador de la cantidad de agua dulce, medida en volumen consumida de la misma; este valor está conformado por el agua evaporada, el agua incorporada a un producto y el agua contaminada en una unidad específica de tiempo. El concepto proporciona información sobre la cantidad de agua dulce consumida en todas las etapas de producción de un producto y constituye un medio útil para la estimación de flujos de agua (Chenoweth, Hadjikakou, & Zoumides, 2013).

Hoekstra et al. (2011) sostienen que como indicador del “uso del agua”, la huella hídrica difiere de la clásica medida de “extracción de agua” en tres aspectos (Figura 1):

1.- La “extracción de agua” no incluye el uso del agua azul en la medida en que el agua se devuelve de donde se obtuvo.

2.- La huella hídrica no está restringida al uso de agua azul, también incluye el agua verde y gris.

3.- La huella hídrica no está restringida al uso directo del agua, también incluye su uso indirecto.

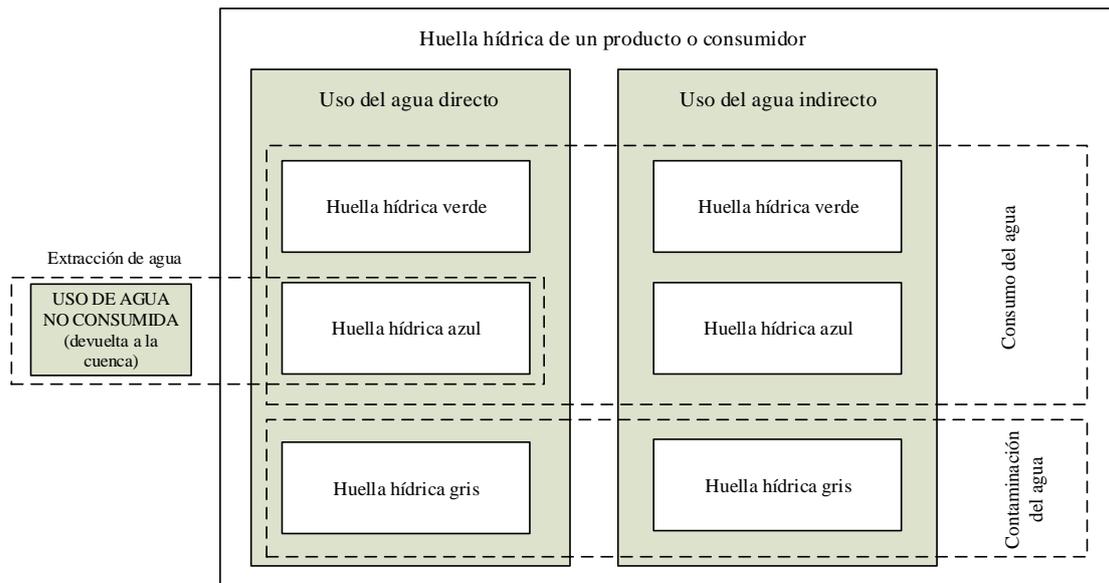


Figura 1. Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica

- **Agua virtual**

Allan (1993) afirma que “El concepto del agua virtual está ligado estrechamente a la idea de huella hídrica. El agua virtual se define como el volumen de agua necesario para generar un determinado producto”. Díaz, *et al.* (2015) aseguran que todos los productos contienen un determinado volumen de agua virtual, ya que el agua se utiliza de una manera u otra en las cadenas de producción. Sin embargo, pueden existir diferencias en el contenido de agua virtual de unos productos a otros.

Hoekstra (2003) define el agua virtual como el agua contenida en un producto, no en el sentido real sino en el sentido virtual. Se refiere al agua usada para elaborar un producto determinado. Se han empleado dos metodologías para realizar la cuantificación más detallada del agua virtual de un producto. La primera cuantifica el agua desde el punto de vista del productor, tomando en consideración el agua que se usó efectivamente para la elaboración del producto, esto dependerá del lugar, el momento donde se produjo y la eficiencia del uso del agua. La segunda se refiere desde el punto de vista del consumidor y cuantifica la cantidad de agua que se hubiera utilizado para elaborar un producto en el lugar donde se lo requiere.

- **Evaluación de la huella hídrica**

La evaluación de la huella hídrica se refiere a la gama completa de actividades para: (i) cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, del producto, consumidor o para cuantificar en espacio y tiempo la huella de agua en un área determinada; (ii) evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de la huella hídrica y (iii) formular una estrategia de respuesta en base a los resultados de la huella de agua (Hoekstra, *et al.*, 2011). La evaluación de la huella hídrica consiste en cuatro fases (Figura 2).



Figura 2. Cuadro de las distintas fases en la evaluación de la huella hídrica

Para este estudio se excluirá la fase 3 sobre la evaluación de la sustentabilidad de la huella hídrica, debido a que esta investigación se enmarca en la evaluación ambiental (recurso hídrico), y no abarca aspectos económicos y sociales.

- **Tipos de huella hídrica**

Hoekstra *et al.* (2011) afirman que “El estudio de la huella hídrica tiene diversos fines que son aplicados en diferentes contextos. La huella hídrica puede ser evaluada en diferentes entornos, por lo que es importante especificar el tipo de huella hídrica a realizar” Los diferentes tipos de huella hídrica son:

- Huella hídrica de una etapa de un proceso
- Huella hídrica de un producto
- Huella hídrica de un consumidor
 - Huella hídrica de los consumidores en una nación
 - Huella hídrica de los consumidores en un municipio, provincia u otra unidad de administración
- Huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada

- Huella hídrica dentro de una nación
- Huella hídrica de un municipio, provincia u otra unidad administrativa
- Huella hídrica dentro de un área de captación o cuenca
- Huella hídrica de un negocio
- Huella hídrica de un sector empresarial
- Huella hídrica de la humanidad en su conjunto

- **Huella hídrica de un producto**

La huella hídrica de un producto, se define como el volumen total de agua dulce, que se utiliza directa o indirectamente para elaborar un determinado producto. En su cuantificación se tiene en cuenta el consumo de agua y la contaminación en todas las etapas de la cadena de producción, llegando a discreparse a su vez en huella hídrica verde, azul y gris (Hoekstra, *et al.*, 2011).

A su vez la huella hídrica de un producto está relacionada con el denominado “contenido de agua virtual” o agua incorporada. Los términos contenidos de agua virtual y agua incorporada se refieren al volumen de agua incorporado en el producto, mientras que huella hídrica se refiere al volumen de agua consumido (verde, azul, gris). Por lo tanto, la huella hídrica de un producto es un indicador multidimensional, mientras que el contenido de agua virtual o agua integrada se refiere solamente al volumen de agua utilizado (Hoekstra y Chapagain, 2008).

- **Relación entre los diferentes tipos de huellas hídricas**

Hoekstra *et al.* (2011) aseguran que “La huella hídrica de un producto es igual a la suma de huellas de agua de los pasos requeridos del proceso para producir el producto (considerando el conjunto de producción y la cadena de suministro)”.

La huella hídrica de un consumidor es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los productos que son usados por el consumidor. La huella hídrica de una comunidad es igual a la suma de las huellas hídricas de sus miembros. La huella hídrica del consumo nacional es igual a la suma de las huellas hídricas de sus habitantes. La huella

hídrica de un negocio es igual a la suma de las huellas hídricas de los productos finales que se fabrican. Finalmente, la huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (municipio, provincia, estado, nación, cuenca o captación) es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los procesos que tienen lugar en la zona (Hoekstra, *et al.*, 2011).

- **Unidades de la huella hídrica**

La huella hídrica se puede expresar en volumen de agua por unidad de producto o por unidad de tiempo, esto cuando se divide la cantidad del producto que resulta del proceso expresándose como volumen de agua por unidad de producto. Los valores de la huella hídrica de un producto generalmente se expresan en m^3/Tn o l/kg , o como volumen de agua por unidad de energía (Jule para electricidad o combustibles) (Hoekstra, *et al.*, 2011).

La huella hídrica de un consumidor o de un negocio se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo, mientras que la huella de agua de un área geográficamente delimitada se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo (Hoekstra, *et al.*, 2011).

2.2.2. Componentes de la huella hídrica

Hoekstra *et al.* (2011) señalan que “Los tres componentes esenciales de la huella hídrica son: huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris”. A continuación, se describen cada una de estos componentes.

2.2.2.1. Huella hídrica azul

El agua azul es la fracción de agua del ciclo hidrológico que se transforma en escorrentía superficial o subterránea y que alimenta el caudal de los ríos y las reservas de los acuíferos, la misma que es susceptible de ser represada de forma natural en lagos o de forma artificial mediante la construcción de embalses (Aldaya & Llamas, 2012).

La huella de agua azul guarda un elevado grado de similitud con las cifras de consumo de agua que se encuentran en la planificación hidrológica, a excepción de la desalinización de aguas marinas y otras fuentes de agua no convencionales (Díaz, *et al.*, 2015).

Hoekstra *et al.* (2011) aseguran que “La huella hídrica azul se define como un indicador del agua superficial o de agua subterráneas consumidas” y que “la huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible en un determinado periodo que se consume (que no se devuelve inmediatamente dentro de la misma cuenca)”. Incorpora cuatro valores:

- 1.- EL agua evaporada
- 2.- El agua que se incorpora a un producto.
- 3.- El agua que no regresa a la misma área de captación (se devuelve a otra área de captación, a los ríos o al mar)
- 4.- El agua que no regresa en el mismo periodo (se retira en un periodo de escases y regresa en el periodo húmedo)

La huella hídrica azul ($WF_{proc, blue}$) de una etapa o proceso se calcula mediante la Ecuación 1:

$$WF_{proc,blue} = BWE + BWI + LRF \left(\frac{volumen}{tiempo} \right) \quad \text{Ec 1. Huella hídrica azul}$$

Dónde:

- ($WF_{proc, blue}$) - Huella hídrica azul de un proceso
- (BWE – Blue water evaporation) - Agua Evaporada
- (BWI – Blue water incorporation) - Agua incorporada en un producto
- (LRF – Lost return flow) - Flujo de retorno perdido:
 - El agua que no está disponible para su reutilización dentro de una misma área geográfica, ya que no retorna al mismo cause (cuando se vierte al mar o a otro sistema hídrico)

- Agua que no está disponible para su reutilización dentro de una misma área geográfica, ya que no retorna en el mismo periodo.

El agua azul evaporada es igual al uso consuntivo del agua, siendo incluidos los tres componentes cuando son relevantes en un proceso determinado (Hoekstra, *et al.*, 2011).

2.2.2.2. *Huella hídrica verde*

El agua verde se define como la precipitación que llega al suelo y que no se pierde por escorrentía, almacenándose temporalmente en la parte superior del suelo o en la vegetación. Esta precipitación eventualmente se evapora o se transpira a través de las estomas de las plantas. El agua verde puede ser utilizada para el crecimiento de los cultivos (Hoekstra, *et al.*, 2011). En este contexto, la huella hídrica verde es relevante en los productos agrícolas y forestales donde la evapotranspiración en los cultivos y plantaciones es el agua incluida en el producto cosechado.

Arévalo. *et al.* (2011) aseguran que la huella hídrica verde se define como el volumen de agua lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisface la demanda de la vegetación. Esta agua subterránea poco profunda es la que permite la existencia de la vegetación natural y vuelve a la atmósfera por procesos de evapotranspiración.

La huella hídrica verde en una etapa o proceso se obtiene con la Ecuación 2:

$$WF_{proc,green} = Green\ Water\ Evaporation + Green\ Water\ Incorporation \left(\frac{volumen}{tiempo} \right)$$

Ec 2. Huella hídrica verde

Dónde:

- ($WF_{proc,green}$) - Huella hídrica verde de un proceso
- (Green Water Evaporation) - Agua verde evaporada
- (Green Water Incorporation) - Agua verde incorporada

- **Proceso de Evapotranspiración**

Según Allen *et al.* (2006) la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por lo que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

- **Evaporación**

La evaporación se define como el proceso mediante el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies como: lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada (Allen, *et al.*, 2006).

- **Transpiración**

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas, estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta por medio de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. Las tasas de transpiración son influenciadas por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo (Allen, *et al.*, 2006).

- **Evapotranspiración**

Allen *et al.* (2006) mencionan que la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación que llega al suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, con el desarrollo del cultivo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

La evapotranspiración se expresa en milímetros por unidad de tiempo (mm/h). Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de

altura de agua. La unidad de tiempo se expresa en hora, día, 10 días, mes o incluso un completo periodo de cultivo o un año (Allen, *et al.*, 2006).

Para el cálculo final de la evapotranspiración se utilizó la fórmula de Twornthwaite, por la facilidad que presenta esta fórmula para calcular la evapotranspiración mensual utilizando únicamente datos de temperatura, determina la evapotranspiración potencial del cultivo de pasto, que es el tipo de cultivo de las áreas verdes de la industria cementera (Ecuación 3).

$$Etp' = 16 * \left(\frac{10Tm}{I}\right)^a \quad \text{Ec 3. Twornthwaite}$$

$$I = \sum i$$

$$i = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.49239$$

$$Etp = Etp' * L$$

$$L = \frac{Nd}{30} * \frac{N}{12}$$

Dónde:

- (Etp')- Evapotranspiración potencial sin ajustar (mm/mes)
- (Tm)- Temperatura media mensual (°C)
- (I) - Índice de calor anual
- (a) - Parámetro en función del índice de calor anual
- (L) - Factor de corrección de los días del mes (Nd) y duración de horas del sol (N).
- (Etp) - Evapotranspiración potencial real (mm/mes)
- (i) - Índice de calor mensual

2.2.2.3. *Huella hídrica gris*

La huella hídrica gris es un indicador del grado de contaminación del agua dulce en un determinado proceso. Se define como el volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminantes, basado en las normas vigentes de calidad ambiental del agua. Este concepto ha crecido a partir del reconocimiento del tamaño de la contaminación

del agua y se puede expresar en términos de volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes (Hoekstra, *et al.*, 2011).

La huella hídrica gris tiene como objetivo mostrar el volumen de agua ambiental requerida para asimilar los productos químicos, conjuntamente con las normas de calidad de agua, las mismas que pueden variar de un cuerpo de agua a otro (Hoekstra, *et al.*, 2011).

Gonzales *et al.* (2012) aseguran que “La carga contaminante hace referencia a la alteración en la calidad físico-química del agua durante el proceso. La carga puede ser calculada de diferentes formas dependiendo de la información disponible”.

La huella hídrica gris se calcula con la Ecuación 4.

$$WF_{proc,gray} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \left(\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right) \quad \text{Ec 4. Huella hídrica gris}$$

Dónde:

- ($WF_{proc,gray}$) – Huella hídrica gris de un proceso
- (L) - Carga del contaminante
- (C_{max}) - Concentración máxima del contaminante que no afecte la calidad del agua
- (C_{nat})- Concentración natural del contaminante en la fuente hídrica

Al ser la huella hídrica gris un indicador de la capacidad de asimilación de contaminantes que tiene el agua, se utiliza como referencia la concentración natural antes que la real ya que la capacidad de asimilación de un cuerpo de agua receptor depende de la diferencia entre el máximo permisible y la concentración natural de una sustancia, entendiéndose como concentración natural en un cuerpo de agua receptor, a la concentración en el cuerpo de agua que se produciría si no existiera intervención humana en el sistema hídrico (Hoekstra, *et al.*, 2011).

Por el contrario, si se compara la concentración máxima permitida con la concentración real de una sustancia, se observará la capacidad de asimilación restante, que cambia constantemente en función del nivel de contaminación real en un momento determinado, es decir, el volumen de agua necesario para la asimilación de la carga contaminante será distinta dependiendo de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural (Hoekstra, *et al.*, 2011).

Cuando la huella hídrica gris es mayor a cero, no implica que automáticamente se exceda el límite de los estándares de calidad de agua ambiental, si no que muestra que la parte de asimilación ya se ha consumido (Hoekstra, *et al.*, 2011).

- **Fuentes puntuales de contaminación**

“Las fuentes puntuales de contaminación de agua, corresponden a los productos químicos que son liberados directamente en un cuerpo de agua superficial en forma de aguas residuales” (Hoekstra, *et al.*, 2011).

En casos excepcionales cuando la concentración del contaminante del efluente (C_{eff} , masa/volumen) es menor a la concentración real del agua captada (C_{act} , masa/volumen) es decir, ($C_{\text{eff}} < C_{\text{act}}$) o cuando el volumen del efluente es menor al volumen de agua captado ($\text{Effl} < \text{Abstr}$), se obtendrá un valor de huella gris negativo que no deberá ser considerado en el cálculo de la huella hídrica total (en este caso se representa una huella hídrica gris de agua nula). La contribución positiva al medio ambiente en el caso excepcional de una “carga negativa” explica que el efluente es menos contaminado que el agua de entrada o captación (Hoekstra, *et al.*, 2011).

- **Reciclaje y reutilización del agua**

Los términos de recirculación y reutilización del agua, se refieren, el primero a la recirculación in situ de agua para el mismo propósito, mientras que el segundo, a la reutilización del agua en otros lugares o para otros propósitos (Hoekstra, *et al.*, 2011).

El reciclaje y la reutilización del agua pueden ser fundamentales para reducir la huella hídrica azul de un proceso, cuando se reduce de manera efectiva el agua de consumo utilizada, a su vez puede ser fundamental para reducir la huella hídrica gris, después del tratamiento del agua residual, esta puede ser reciclada completamente o reutilizada para el mismo propósito u otro distinto (Hoekstra, *et al.*, 2011).

2.2.3. Huella hídrica total

Para el cálculo final de la huella hídrica total se realiza la suma de los tres componentes esenciales en base a la Ecuación 4, la misma que determina cuál de dichos componentes aportan mayor medida a la huella hídrica de esta investigación.

$$WF = WF_{proc,blue} + WF_{proc,green} + WF_{proc,grey} \quad \text{Ec 5. Huella hídrica total}$$

Dónde:

- WF (Water Footprint) - Huella hídrica
- $(WF_{proc, blue})$ - Huella hídrica azul de un proceso
- $(WF_{proc, green})$ - huella hídrica verde de un proceso
- $(WF_{proc, grey})$ - huella hídrica gris de un proceso

2.3. Marco legal

Los instrumentos legales del Ecuador tienen un marco jerárquico que inicia con la Constitución de la República, La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, Código Orgánico de Ambiente (COA) y finalmente el Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021. A continuación, se detallan estos instrumentos legales que se relacionan con la temática del proyecto de investigación.

2.3.1. Constitución Política de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador, (2008). En el Título VII – Régimen del Buen Vivir, dentro del Capítulo Segundo – Biodiversidad y Recursos Naturales, en la Sección primera - Naturaleza y Ambiente, señala:

Art. 395.- “La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales... 2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional”.

Art. 396.- “El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente; la industria cementera dentro de los procesos de producción emplean recursos naturales que se ven afectados por dicho proceso, por lo que son los responsables de mitigar y reparar los impactos causados a dicho recursos.”

Título VII – Régimen del Buen Vivir, en el Capítulo Segundo – Biodiversidad y Recursos Naturales, en la Sección Sexta – Agua: Art. 411.- “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua”.

Art. 412.- “La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.”

2.3.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua

La presente investigación se enmarcará en la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, (2014). Esta ley contempla una planificación y gestión del recurso hídrico, garantizando la soberanía alimentaria, el caudal ecológico y las actividades productivas.

En el Título IV Aprovechamiento del Agua, Capítulo I –De Los Tipos De Aprovechamiento Productivo –Sección Segunda Aprovechamiento Energético e Industrial, Art. 107, se establece que “Para toda actividad industrial en la que se utilice agua de fuentes hídricas, se solicitará la autorización de aprovechamiento productivo a la Autoridad Única del Agua. Las aguas destinadas para el aprovechamiento industrial, una vez utilizadas, serán descargadas por el usuario, previo su tratamiento, cumpliendo con los parámetros técnicos que dicte la Autoridad Ambiental Nacional”

2.3.3. Código Orgánico del Ambiente (COA)

En el Código Orgánico del Ambiente (COA), (2017). En el libro tercero, de la calidad ambiental, en el Título II – Disposiciones generales Sistema único de manejo ambiental, Art. 160, establece que “el sistema Único de Manejo Ambiental determinará y regulará los principios, normas, procedimientos y mecanismos para la prevención, control, seguimiento y reparación de la contaminación.

En el capítulo V, calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos, en el Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Establece que “las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los

ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración. Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, realizaran el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo.

En el Título III – control y seguimiento ambiental, en el capítulo IV de monitoreo y seguimiento, Art. 209. La Autoridad Ambiental Nacional expedirá las normas técnicas y procedimientos que regularán del muestreo y los métodos de análisis para la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos. Además, los análisis de realizaran en laboratorios públicos o privados de las universidades o institutos de educación superior acreditado por la entidad nacional de acreditación. Art. 210.- información de resultados de muestreo, cuando la Autoridad Ambiental Competente realice muestreos para el control de una emisión, descarga o vertido deberá informar sobre los resultados obtenidos al operador, en conjunto con las observaciones técnicas que correspondan. Además, las tomas de muestras se realizarán con un representante del operador, los funcionarios de la autoridad competente de control y un representante del laboratorio acreditado. El protocolo de custodia de las muestras se expedirá mediante la norma técnica pertinente.

Para dar cumplimiento con la normativa ambiental, es necesario referirse al Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, (2015). En el libro VI anexo 1 del TULSMA 2015, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, se decreta la normativa que tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua. El objetivo principal es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones del ambiente en general, de acuerdo a los distintos criterios de usos se establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado, siendo de aplicación obligatoria y que rige en todo el territorio nacional.

En lo que corresponde a calidad de agua, la presente investigación se enmarca en tres normas del TULSMA: a) la norma 5.1.1 “Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico”, entendiendo por consumo humano y uso doméstica o ingerida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; fabricación o procesamiento de alimentos en general.; b) la norma 5.2.4 “Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce”, la misma que define las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. ; y c) la norma 5.2.7 “Del muestreo compuesto”, en donde se establece la formación de las muestras compuestas deberá ser con alícuotas de volumen proporcional al caudal.

2.3.4. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

La presente investigación se alinea en el Objetivo N° 3 del Plan Nacional de Desarrollo, (2017-2021). “Garantizar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones”, y específicamente en la política 3.2. “Distribuir equitativamente el acceso al patrimonio natural, así como los beneficios y riqueza obtenidos por su aprovechamiento, y promover la gobernanza sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables” y al lineamiento estratégico a.8: “Controlar que la descarga de efluentes de aguas servidas, domésticas e industriales y la descarga de vertidos de buques cumplan los parámetros establecidos por la correspondiente legislación nacional, sectorial e internacional”.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo describe el tipo de la investigación, el área de estudio, la metodología utilizada, los instrumentos utilizados para el registro de datos, el análisis de los datos obtenidos, y las consideraciones bioéticas.

3.1. Tipo de investigación

El presente proyecto se sustenta en una investigación de campo de carácter mixto cualitativa y cuantitativa. Los diferentes procesos realizados para la elaboración del cemento, generan impacto sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico, de ahí la importancia de evaluar este impacto ambiental, mediante la estimación de un indicador como es la huella hídrica. La huella hídrica permite analizar el consumo estimado de agua en las etapas de producción de un determinado producto, de manera directa o indirecta, en términos de volumen de agua consumida y/o contaminada por unidad de tiempo (Hoekstra & Chapagain, 2008).

Esta investigación, se sustenta, además, en la Norma ISO 14046:2014, la cual presenta los principios, requisitos y directrices para la gestión de la huella hídrica de empresas públicas y privadas (International Organization for Standardization 14046, 2014).

3.2. Descripción del área de estudio

El área de estudio está localizada en Ecuador en la Provincia de Imbabura, en el Cantón Otavalo, Parroquia San José de Quichinche, comunidad El Corazón de Perugachi, en el kilómetro 7 ½ de la vía Selva Alegre, (elaborado en base a la información obtenida del Instituto Geográfico Militar del año 2015) (Figura 3).

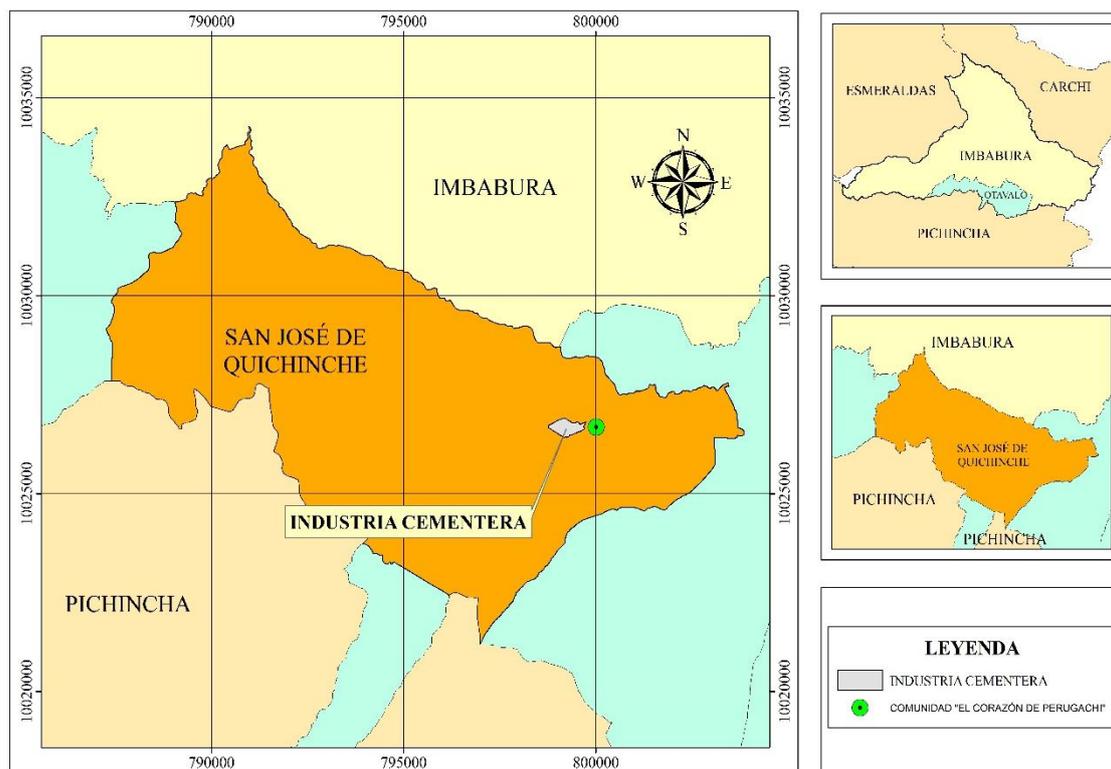


Figura 3. Ubicación del área de investigación

Las características geográficas y climáticas, de las zonas de vida corresponde a bosque muy húmedo montano, bosque seco montano bajo, bosque húmedo montano y bosque húmedo montano bajo; las precipitaciones oscilan entre 1100 mm y 1500 mm al año, y la temperatura media anual varía entre 9 °C y 15 °C, como se muestra en la Figura 4, los datos obtenidos de la base de datos Climate Data (1982-2012) en donde se relaciona la precipitación con la temperatura media del cantón Otavalo (PDOT San José de Quichinche, 2015).

A través de las formaciones geológicas, el grado de inclinación de la pendiente, las precipitaciones y la presencia de páramos y bosques, se han formado redes hídricas superficiales y subterráneas que drenan a los diversos cauces y quebradas de la parroquia. Los cuerpos de agua más representativos son la quebrada Ambi con 5,14 km de longitud, quebrada Huagshapungu o Santa Lucía con 4,09 km, quebrada Perugachi con 9,85km y los ríos Blanco 8,47 km de longitud en el territorio de la parroquia, y el río Tangalí con 10,47 km (PDOT de la Parroquia San José de Quichinche, 2015).

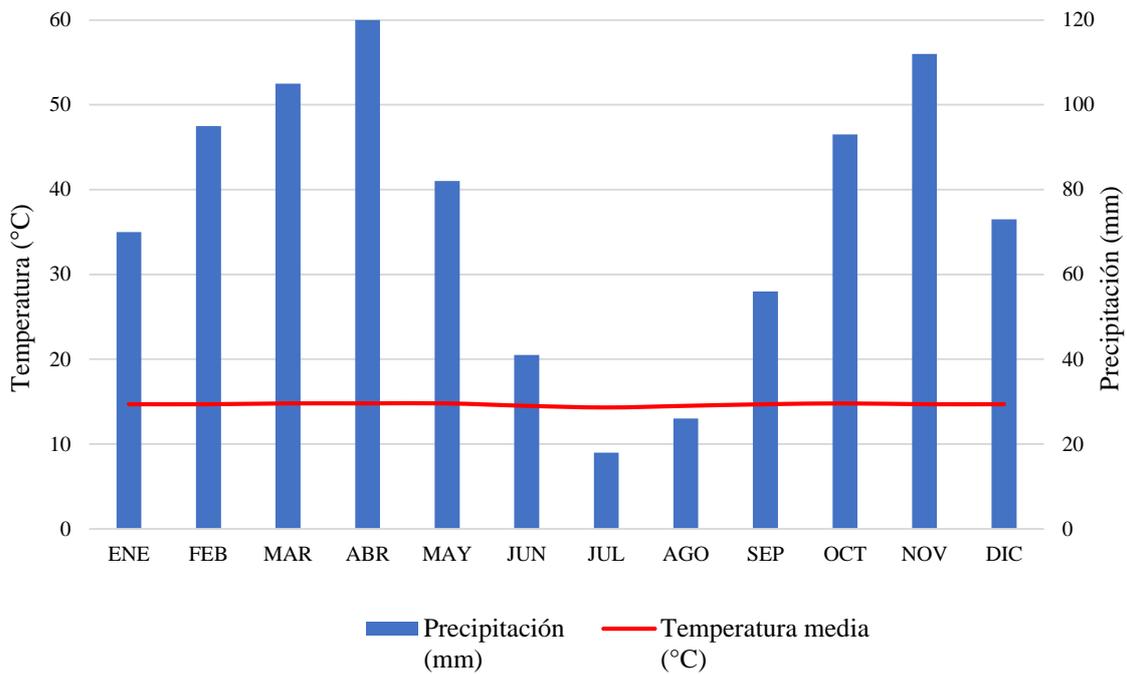


Figura 4. Diagrama ombrotérmico (Otavalo)

3.3. Materiales y métodos

Se utilizó un proceso metodológico y técnico. De acuerdo a las características de la investigación se determinó el problema, los objetivos y la pregunta directriz. La investigación se basa en la metodología The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard (Hoekstra, et al., 2011), y en la Organización Internacional de Normalización ISO 14046 del año 2014.

Además, se enmarca en el capítulo X del acuerdo N° 061 reforma del libro VI del Texto Unificado De Legislación Secundaria del Ecuador del año 2015. La metodología implementada consiste en tres fases, las cuales corresponden a los objetivos específicos establecidos en esta investigación.

3.3.1. Fase 1: Caracterización de las actividades desarrolladas por la industria cementera

Esta fase cumple con el primer objetivo específico de la investigación: caracterizar las actividades desarrolladas en la industria cementera, provincia de Imbabura. La caracterización se enmarca en el manual: *The Water Footprint Assessment Manual, Setting The Global Standard*; el cual establece el procedimiento para determinar el alcance del estudio (Hoekstra, *et al.*, 2011). Además, se utilizó la norma ISO 14046:2014, que internacionaliza los principios, requisitos y las directrices relacionados con la evaluación de la huella de agua, esto con la finalidad de generar una línea base para la certificación de la industria posteriormente.

La caracterización de la planta industrial de elaboración de cemento comprende diferentes áreas, desde el proceso de producción, que empieza con la recepción y el almacenamiento de la materia prima, hasta la entrega del producto final hacia los diferentes destinatarios. No se consideró la extracción de las materias primas, se excluyó la elaboración de las fundas de papel para el envasado del cemento, ya que estas actividades son independientes de los procesos de producción del cemento. Se incluye la central termoeléctrica, la piscina de recirculación y los consumos adicionales. Bajo este argumento, dichas áreas fueron caracterizadas por consumir el recurso hídrico de manera directa o indirecta. Esta etapa comprende la clasificación e identificación de las actividades desarrolladas dentro de la industria cementera (Hernández, 2005).

Adicionalmente se ejecutó una entrevista dirigida hacia los técnicos responsables de cada área, dicha entrevista comprende dos fases: la primera denominada de correspondencia, donde se realizó el encuentro con el entrevistado, la recopilación de datos y el registro de la información; la segunda, considerada de análisis, donde se estudió con detenimiento cada entrevista y se recopiló toda la información para los análisis posteriores (Robles, 2011). Adicionalmente, la información obtenida por medio de las entrevistas será confirmada mediante salidas de campo en el proceso industrial.

3.3.2. Fase 2: Evaluación del agua requerida

La segunda fase de la metodología cumple con el procedimiento establecido en el manual: *The Water Footprint Assessment Manual*, el mismo que determina la cuantificación de la huella hídrica por unidad de estudio (Hoekstra *et al.*, 2011), cumpliendo con el segundo objetivo específico de la investigación: evaluación de la calidad y cantidad de agua requerida en el proceso industrial y consumos adicionales.

3.3.2.1. Evaluación de la calidad

En la primera sub-fase se realizó el análisis de la calidad del agua para planta industrial y consumos adicionales. La toma de muestras y monitoreos de calidad de agua se basó en el capítulo X del Acuerdo N° 061 reforma del libro VI del Texto Unificado De Legislación Secundaria del año 2015.

La calidad de agua se tabuló en función de los parámetros establecidos por el Acuerdo Ministerial N° 097-A, anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, que comprenden la toma de muestras y los análisis físico químicos y microbiológicos en laboratorio, tanto del proceso industrial como del agua utilizada en consumos adicionales; dichos análisis serán efectuados por el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), laboratorio acreditado al Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), el cual está encargado de realizar el protocolo de muestreo y la cadena de custodia correspondiente para esta investigación.

3.3.2.2. Evaluación de la cantidad

En esta segunda sub-fase se realizó la identificación in-situ de los puntos de medición del volumen de agua que es captada, recirculada y descargada durante el proceso de producción de cemento. Para esto se registró la carga de agua sobre los vertederos de captación, recirculación y descarga, de la línea 1 y 2 del proceso de fabricación del cemento, para la determinación de los caudales circulantes.

La carga de agua fue medida por medio de sensores capacitivos “Water level logger” que registran datos continuos de manera automática. Se utilizó los vertederos triangulares ya existentes tanto para captación como recirculación y el vertedero rectangular de pared delgada para la descarga. El registro de datos se realizó con intervalos de una hora durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2017 además de enero y febrero del año 2018. Esto con la finalidad de contar con un registro de datos tanto en los meses ecológicamente secos como en los lluviosos, en base al diagrama ombrotérmico de la ciudad de Otavalo.

Para la medición de la cantidad de agua usada en consumos adicionales (consumo humano, instalaciones hidrosanitarias), se registró el caudal captado mediante un medidor de chorro múltiple (Bar Meters 2”), tomando registros cada 15 días. El medidor contabilizó el volumen de agua que ingresa a la industria para su uso en consumos adicionales, y en base a este valor se determinó indirectamente la cantidad de agua consumida por el personal que trabaja en las diferentes independencias de la planta industrial, adicional a esto, se usó la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (2011), la cual determina la dotación del consumo de agua para industrias.

3.3.3. Fase 3: Estimación de la huella hídrica

Esta fase cumple con el tercer objetivo específico de la investigación que es: estimar la huella hídrica en la producción de cemento. Esta fase se ajustó de acuerdo al Water Footprint Assessment Manual, mismo que estima la huella hídrica en función de su componente azul, verde y gris. (Hoekstra *et al.*, 2011).

Una vez contabilizado el volumen de agua que se consume en la planta industrial se efectuó la estimación de la huella hídrica en relación a la producción de cemento, y finalmente con los resultados obtenidos se planteó recomendaciones para la optimización del consumo del agua dentro de la industria cementera.

3.4. Consideraciones bioéticas

Esta investigación se basó en un acuerdo entre la Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte y la industria cementera, que contiene los siguientes puntos relevantes, que han sido cumplidos a cabalidad durante todo el proceso de investigación:

- a. La información de la industria que se utilice para la investigación será netamente para los fines pertinentes, no se podrá compartir ninguna información para otras causas, firmando un acuerdo de confidencialidad.
- b. El permiso para el uso de información de la industria se realizó a través de los tutores internos de la industria.
- c. La salida de campo dentro de la industria se realizó con toda la seguridad pertinente, así como con el personal adecuado para cada área de trabajo.
- d. En la industria cementera, los estudiantes deberán seguir el protocolo de seguridad, así como el equipo de protección personal.
- e. El registro de datos de cantidad de agua se realizó mediante sensores capacitivos los cuales darán validez a la investigación.
- f. Las muestras de calidad de agua se ejecutaron mediante el laboratorio acreditado CESTTA, y fueron financiadas por la industria.
- g. Las fotografías de la industria cementera se manejaron en función de los permisos pertinentes.
- h. El retiro de registros se realizó cada quince días, previa agenda de actividades.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo describe los resultados obtenidos en base a cada uno de los objetivos específicos propuestos, el cual se dividió en tres fases: caracterización de las actividades de la industria, evaluación de calidad y cantidad de agua, finalmente estimación de la huella hídrica y a su vez realizar recomendaciones para la optimización del consumo del recurso hídrico dentro de la industria cementera.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las fases propuestas en esta investigación.

4.1. Fase 1: Caracterizar las actividades desarrolladas en la industria cementera

En esta fase se realizó la caracterización de las actividades que se desarrollan dentro de la planta cementera, de los procesos empleados en la industria para la elaboración del cemento, entrevistando al personal técnico encargado de cada área como lo indica en el (Anexo 1).

El flujograma de las actividades desarrolladas en la industria cementera (Figura 5), indica las diferentes actividades que se desarrollan en la industria, así como de las distintas etapas que comprenden la elaboración del producto.

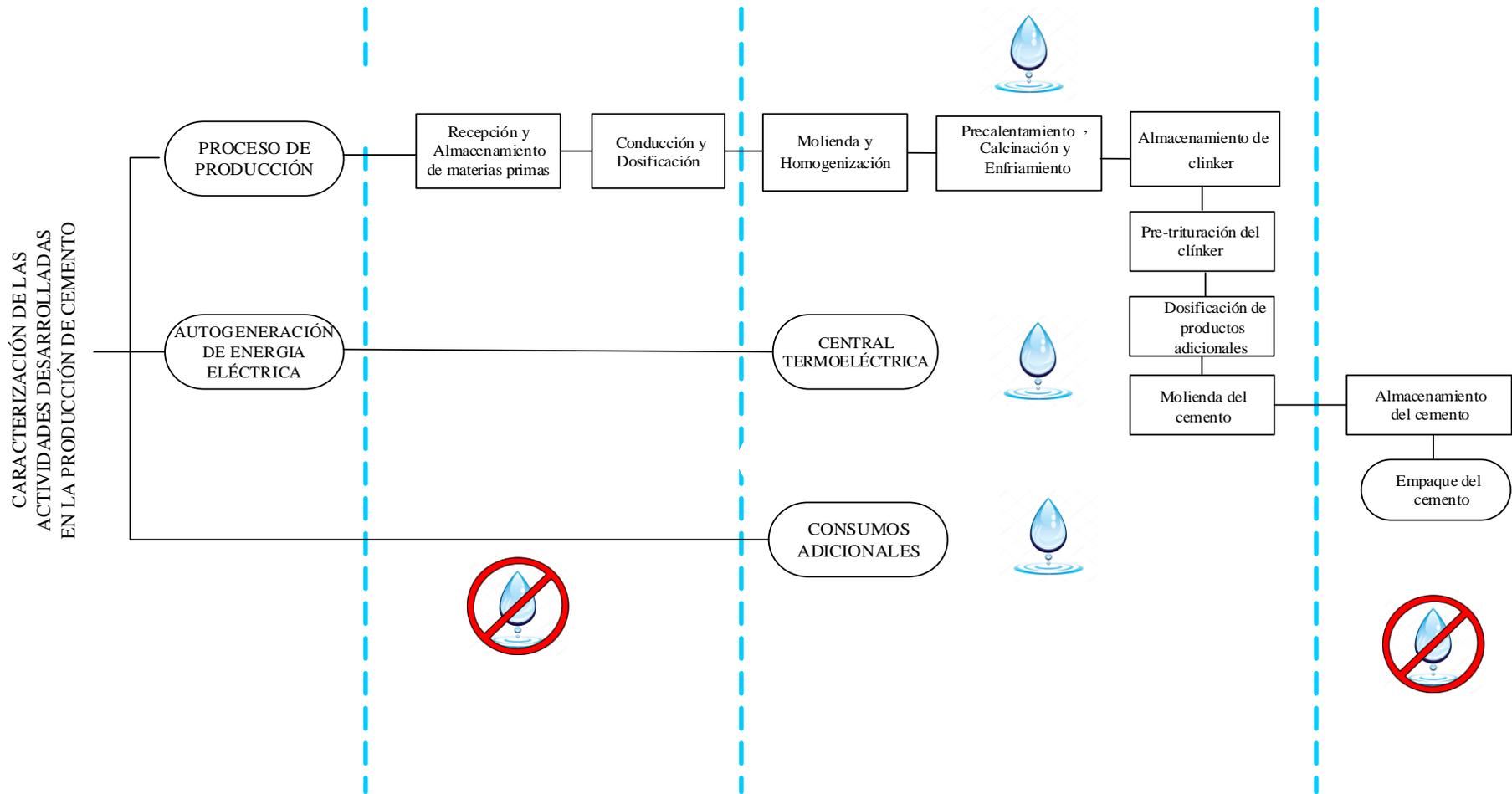


Figura 5. Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en la industria de elaboración de cemento

Fuente: Modificado de la Auditoria Ambiental de Cumplimiento de la industria cementera (2015)

4.1.1. Proceso de producción

Dentro del proceso industrial de la planta de producción de cemento se manejan dos líneas de flujo, en las cuales se emplean los mismos métodos, a diferencia de ciertos requerimientos específicos. Es importante mencionar que se tomó en cuenta el proceso de producción desde el acopio de materias primas hasta el envasado del producto final, y se excluye la extracción de materias primas, al igual que las fundas de papel para el envasado del cemento.



Figura 6. Planta industrial cementera de la provincia de Imbabura

Para este proceso se necesitan insumos como: hierro, sílice, caliza y arcilla, insumos que ingresan en el molino de crudo para ser pulverizados y transformados en harina de crudo. Posteriormente estos insumos son almacenados en un silo antes de ingresar al horno de crudo. Luego se traslada este material hacia hornos que mantienen una temperatura cercana a los 1520 °C. Dichos hornos funcionan con combustibles sólidos, líquidos, biomasa y fósiles. Seguido, se realiza la clinkeración donde se obtiene el mineral que caracteriza al cemento que es almacenando en silos adecuados. Adjuntando yeso y puzolana, se realiza la molienda del material para la elaboración del cemento. El enfriamiento de la maquinaria utilizada en producción se realiza mediante ventiladores de alta eficiencia. En caso de no ser suficiente esta técnica, se consume agua a manera de aspersión o nebulización. Finalmente, el cemento es transportado a los silos de almacenamiento y envasado en sacos de 50kg o granel para su venta final, como se indica en el flujograma de procesos (Figura 7).

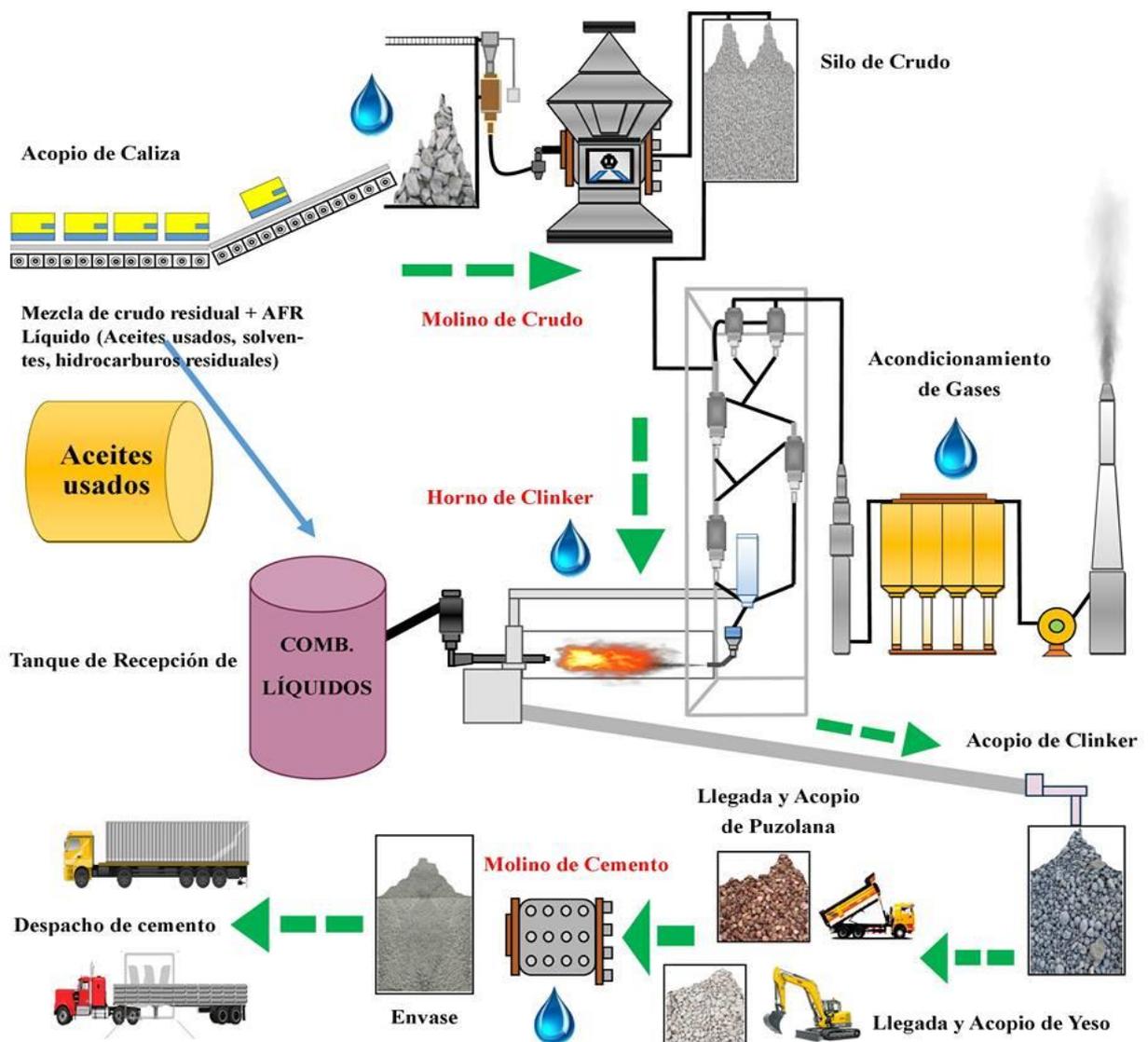


Figura 7. Flujograma de procesos para la producción de cemento

Fuente: Modificado de la Auditoria Ambiental de Cumplimiento de la industria cementera (2015)

1. Recepción y almacenamiento de materias primas

Para la fabricación de cemento como materia prima, tanto en la línea 1 como en la línea 2 se utiliza: caliza triturada, arcilla, yeso, puzolana, arena de sílice y mineral de hierro. Estos insumos provienen de concesiones mineras independientes de la industria. Dichos insumos son pesados en básculas adecuadas para el efecto y almacenados en espacios suficientes para los requerimientos de la industria.

Para la descarga de arcilla y puzolana se dispone de tolvas de recepción, desde ahí se transporta el material mediante bandas subterráneas a la siguiente etapa. En esta etapa no existe consumo de agua.



Figura 8. (A) Bandas transportadoras, (B y C) Almacenamiento de materias primas (arcilla, yeso, caliza)

2. Conducción y dosificación

Las materias primas son fraccionadas y dosificadas en función de la composición química de cada uno de los insumos, para posteriormente ser ingresadas a los molinos verticales para ser pulverizadas y transformadas en harina de crudo. Las dos líneas de producción cuentan con su respectivo sistema de dosificación y transporte individual hacia el horno para el siguiente proceso. En esta etapa no existe consumo de agua.

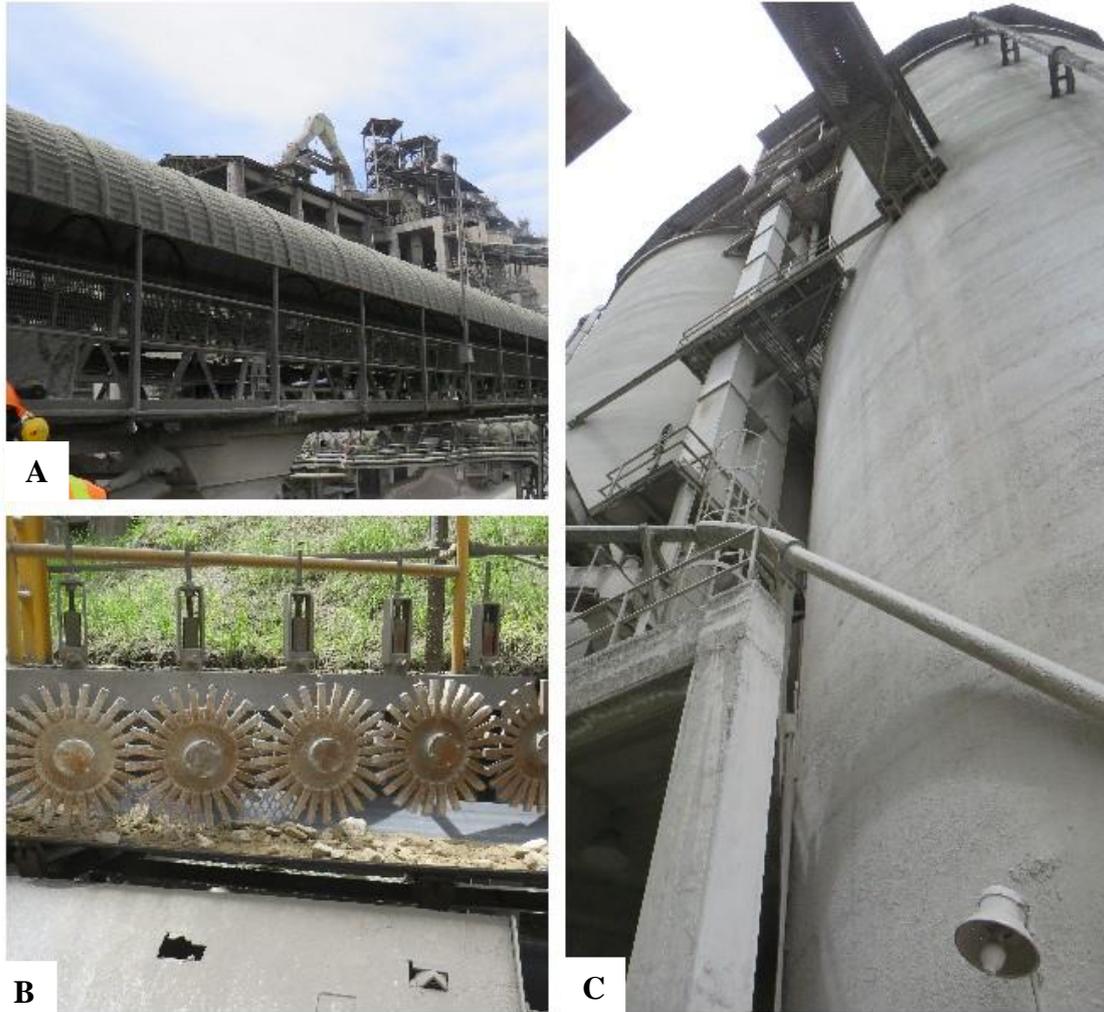


Figura 9. (A) Bandas transportadoras de materias primas, (B) molinos seleccionadores , (C) tolvas de almacenamiento

3. Molienda y homogenización

El proceso de molienda consiste en tomar las rocas calcáreas y las arcillas en las proporciones requeridas y molerlas intensamente en un molino de rodillo. Durante la molienda se produce una recirculación de los gases del horno de calcinación que permiten secar los materiales a 250 °C. Si la recirculación de gases alcanza una temperatura superior a los 250 °C, se procede al enfriamiento por medio del uso de agua a manera de nebulización, logrando que el compuesto de la caliza se vincule íntima y homogéneamente con los compuestos de la arcilla. El producto resultante de este proceso se denomina “polvo crudo”.

Posterior a esto, en la etapa de homogenización, el crudo es transportado en elevadores mecánicos a un silo de almacenamiento.



Figura 10. (A y B) elevadores mecánicos, (C) Silo de homogenización.

4. Pre calentamiento, calcinación y enfriamiento

- **Pre calentamiento**

La línea 1 y 2 cuentan con tolvas de pre calentamiento, las cuales, debido al flujo de los gases de combustión del horno en contracorriente, pre calientan el crudo proveniente de los silos de homogenización, que luego pasa hacia el horno a una temperatura de 900° C.

- **Calcinación**

El polvo de crudo una vez homogenizado y precalentado ingresa a un horno rotatorio recubierto con ladrillo refractario, instalado con una leve inclinación que permite al producto descender durante su proceso de cocción, permaneciendo por un tiempo de 2 a 3 horas a una temperatura inicial de 900 °C, la misma que se eleva hasta alcanzar los 1450 °C aproximadamente. La línea 1 dispone de una torre de precalentamiento de cuatro etapas, con un sistema de flujo de gases del horno, mientras que la línea 2 tiene una torre de precalentamiento de cinco etapas. El clínker sale del horno de calcinación a altas temperaturas, para posteriormente ser sometido a un enfriamiento mecánico mediante ventiladores de alta potencia, en caso de no abastecer los ventiladores para la disminución de la temperatura, se procede a la aspersión de agua.



Figura 11. Horno rotatorio

- **Enfriamiento**

Una vez que sale el clínker del horno es transportado a una enfriadora de parrillas, que inyecta aire a temperatura ambiente a través de ventiladores de alto rendimiento y bajo nivel de ruido. La enfriadora cuenta con aspersores de agua que ayudan al enfriamiento del clínker. Posteriormente el material debe ser triturado y transportado al silo de almacenamiento.

5. Almacenamiento del clínker

El clínker enfriado pasa a ser almacenado en un silo adecuado con una capacidad de 50000 toneladas. En esta etapa no existe consumo de agua.

6. Pre-trituración del clínker

La línea 1 cuenta con un pre-triturador de puzolana. El clínker extraído del silo de almacenamiento pasa por una trituradora de martillos para adecuar su granulometría, mientras que la línea 2 funciona con el sistema de pre-trituración de la línea 1, esta línea cuenta con un pre-triturador adicional para el yeso y puzolana que ingresan al molino de la línea 2. En esta etapa no existe consumo de agua.

7. Dosificación de productos adicionales

En el proceso de elaboración del cemento se requiere la conducción y dosificación de los productos intermedios (clínker) y materias primas adicionales (yeso y puzolana) hacia el molino de cemento. En esta etapa no existe consumo de agua.

8. Molienda del cemento

El clínker, yeso y puzolana, luego de ser adecuadamente dosificados son clasificados y pasan posteriormente a la estación de molienda para convertirse en cemento. Luego el cemento es transportado y distribuido hacia los silos de almacenamiento. La línea 1 y la línea 2 cuentan con molinos de bolas independientes, los cuales recibe el clínker, yeso y puzolana en las cantidades adecuadas.

El consumo de agua en esta etapa se realiza por medio de tuberías de aspersion, la cantidad de agua utilizada dependerá de las condiciones de la molienda y del material, es decir, el material deberá estar completamente seco y el molino deberá cumplir con las condiciones requeridas desde panel de control, como son adherencia del material y fijación. Una vez molido el material es clasificado en un separador de tercera generación acoplado al molino con una alta eficiencia para recuperar cualquier fuga que exista en el molino.



Figura 12. (A) Molino de cemento, (B y C) entrevista a los técnicos, (D) almacenamiento de clinker

9. Almacenamiento del cemento

La línea 1 y la línea 2 cuentan con cinco silos para el almacenamiento del producto proveniente de los molinos de cemento, los cuales se encuentran conectados a los sistemas de despacho a granel y envasado; esto dependerá de las exigencias de los consumidores de dicho producto. En esta etapa no existe consumo de agua.



Figura 13. Silos de almacenamiento del cemento

10. Empaque del cemento

El producto es despachado y transportado en plataformas a los distribuidores y comercializadores de cemento ensacado en la planta. El área de despacho de cemento ensacado cuenta con 5 andenes donde se ubica el transporte pesado para cargar directamente el producto y transportarlo a nivel nacional. En esta etapa no se realiza el consumo de agua.



Figura 14.(A) Ensacado del cemento, (B y C) despacho y transporte del cemento

4.1.2. Autogeneración de energía eléctrica

La industria cementera posee su propia planta de autogeneración eléctrica con una potencia instalada nominal autorizada por el CONELEC de 33,45 MW (potencia efectiva de 27.3 MW), que se conecta al Sistema Nacional Interconectado a través de la línea de sub-transmisión Ibarra-Selva Alegre.

4.1.2.1. Descripción de la central termoeléctrica de la planta industrial cementera

La central termoeléctrica de la industria de producción de cemento tiene una casa de máquinas donde están emplazados siete grupos termoeléctricos en operación, además dispone de dos cuartos o salas de control eléctrico, posee un patio de transformación o subestación eléctrica para el acopio de energía eléctrica, un cuarto de calderos (caldero de búnker), un cuarto para el sistema de purificación centrífuga, y un cuarto de condensador sincrónico. Para el tratamiento de efluentes existen piscinas de recirculación de aceites y crudo residual; además cuenta con un sistema de clarificación y tratamiento del agua utilizada en la central termoeléctrica, con una capacidad de 300 m³, la misma que está conectada a la piscina de enfriamiento de agua de procesos. El agua de la piscina de aireación es utilizada para la generación de energía eléctrica y para la recirculación del proceso industrial, aportando positivamente al ambiente.



Figura 15. Central termoeléctrica de la planta cementera

- **Combustibles requeridos en el proceso de producción**

Los hornos de calcinación están diseñados para operar con combustibles líquidos y sólidos. Tanto el horno 1 como el horno 2 trabajan con aceites usados, Pet-coke o coque del petróleo y biomasa proveniente de la cáscara de palma africana. Mientras que para la planta termoeléctrica se utiliza principalmente crudo residual (fuel oil) y en menor cantidad diésel.

4.1.3. Caracterización de consumos adicionales

En este ítem se identificaron las diferentes independencias donde existe consumo de agua de manera indirecta, para la estimación final de la huella hídrica.

4.1.3.1. Agua de consumo humano

En la industria cementera trabajan alrededor de 232 personas distribuidas en 3 turnos rotativos para cumplir con las 24 horas de producción de la industria. En cuanto a las instalaciones hidrosanitarias que utilizan agua en la industria de manera indirecta, existen 62 excusados, 35 urinarios, 43 lavabos temporizados, 27 lavabos manuales, y 15 duchas distribuidos en los diferentes sectores tanto administrativas como de producción, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Independencias de consumo indirecto de agua

Área Administrativa	Área de producción
Edificio central	Vestidores de producción
Gerencia	Bodega
Vestidores de mantenimiento	Planta eléctrica
Comedor	Laboratorio
Dispensario médico	Panel central
Logística y transporte	Envase
Garita principal	Sala E14

4.1.3.2. Áreas verdes

La planta industrial cuenta con 8 hectáreas de áreas verdes, pasto (*Cynodon dactylon*) en mayor cobertura distribuidas en diferentes lugares dentro de la fábrica. El consumo de agua para el mantenimiento de áreas verdes y control de material (polvo) se lo realiza mediante un tanquero, que trabaja media jornada por la mañana con un total de 2 a 3 veces por día en época seca y de 1 a 2 veces por día en los meses lluviosos.



Figura 16. (A y B) áreas verdes en la industria cementera

4.1.4. Piscina de recirculación

La piscina de recirculación cuenta con seis aspersores de agua, los cuales aportan a la disminución de la temperatura del agua utilizada en la producción de cemento y en la autogeneración de energía eléctrica. Las dimensiones de la piscina son 30 m de largo, 29.8 m de ancho y 2.24 m de profundidad, con un volumen aproximado de 2002 m³.

De esta piscina, el agua se aprovecha para ser recirculada mediante el uso de bombas de absorción, las cuales son activadas manualmente de acuerdo a los requerimientos del proceso de producción. El volumen de agua que no es aprovechado pasa a un tratamiento biológico de plantas acuáticas en su mayoría lechuguines (*Eichhornia crassipes*), y finalmente es descargado.



Figura 17. Piscina de recirculación

4.2. Fase 2: Evaluación del agua requerida

En esta segunda fase se realizó la evaluación de la calidad y cantidad de agua requerida durante el proceso de producción y consumos adicionales. Se determinó que el agua utilizada para el proceso industrial proviene de las captaciones Yanajaca y Sigsicunga, mientras que el agua utilizada para consumos adicionales proviene de la vertiente subterránea Cerro Blanco.

4.2.1. Calidad de agua de proceso

Para determinar la calidad de agua utilizada en el proceso industrial se efectuó el análisis de agua según la normativa ambiental correspondiente. Las muestras fueron tomadas en captación y en descarga del proceso industrial como indica el flujograma de ubicación de puntos de muestreo de calidad de agua de proceso industrial (Figura 18). No se realizó el análisis de calidad de agua de recirculación, ya que es tomada directamente de la piscina de enfriamiento. Además, los resultados de los parámetros analizados durante el periodo de esta investigación, fueron comparados con los análisis de calidad de agua que la industria cementera realiza cada trimestre durante el año 2017.

4.2.2. Calidad de agua de consumos adicionales

Para determinar la calidad de agua de ingreso utilizada para consumos adicionales, se ubicó un punto de muestreo en la descarga de la planta de tratamiento de agua de la industria cementera como indica la (Figura 22). El agua para consumos adicionales es conducida desde la vertiente de Cerro Blanco mediante tubería subterránea hacia la planta de tratamiento de agua para uso doméstico. La planta de tratamiento cumple con la normativa ambiental de criterios de consumo de agua doméstico correspondiente, así lo demuestra los análisis de agua que se ejecutaron durante el periodo de esta investigación, que a su vez fueron comparados con los análisis trimestrales que la industria realizó durante el año 2017, en base al Acuerdo Ministerial 097 A, Anexo 1 del TULAS (2015), Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (Anexo 6).

Bajo este argumento, se destaca que el agua proveniente de la planta de tratamiento es apta para el consumo humano. No se realizó el análisis de descarga de aguas grises, cumpliendo con las normas de seguridad de la industria, que impide el libre acceso del personal.

4.2.3. Análisis de calidad de agua requerida en la industria cementera

Las muestras de agua obtenidas fueron sometidas a análisis físico, químico y microbiológico en un laboratorio acreditado, según lo establecido en la Tabla 2. Los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros regulados por la norma ecuatoriana de calidad de agua de uso industrial y doméstico, para dar cumplimiento al Acuerdo Ministerial 097 A. Anexo1. Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente TULAS. Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Los análisis se ejecutaron a través del laboratorio de Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESSTTA), mismo que está acreditado al Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE). Los análisis fueron efectuados el día 08 de noviembre del 2017, con una muestra compuesta cada 3 horas, con su respectiva cadena de custodia y protocolo de muestreo (Anexo 2 y 3).

Tabla 2*Análisis de agua de la industria cementera, provincia de Imbabura*

Punto de muestra	Tipo de muestra	Análisis solicitado	Tabla de límites permisibles correspondiente al Tulas (2015)
Entrada Agua de Proceso 17N 798579/10026461	Residual	Físico- Químico- Microbiológico	Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
Salida Agua de Proceso 17N 798643/10026417	Residual	Físico- Químico- Microbiológico	Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
Consumos adicionales 17N 799548/100266	Consumo	Físico- Químico- Microbiológico	Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Fuente: Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental

Los resultados con los valores de cada parámetro se detallan en los Anexos 4, 5 y 6, los cuales indican que todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permisibles determinados por la norma ecuatoriana ambiental tanto para proceso industrial como para consumos adicionales.

Los análisis de calidad obtenidos del agua de proceso, son fundamentales para la estimación de la huella gris, ya que determinan el grado de contaminación de la industria hacia el cuerpo de agua. Los parámetros considerados en el análisis de la huella gris fueron DBO₅, DQO y sólidos totales cumpliendo con la metodología establecida para esta investigación.

4.2.4. Cantidad de agua en el proceso de producción

Mediante la instalación de los sensores capacitivos “Water level logger” (Anexo 10) en la industria conjuntamente con los vertederos ya existentes se realizó el registro de carga de agua sobre el vertedero en los tres puntos identificados: captación, recirculación y descarga del proceso industrial, para la estimación de los caudales, como se indica en el flujograma de puntos de muestreo para proceso industrial (Figura 18).

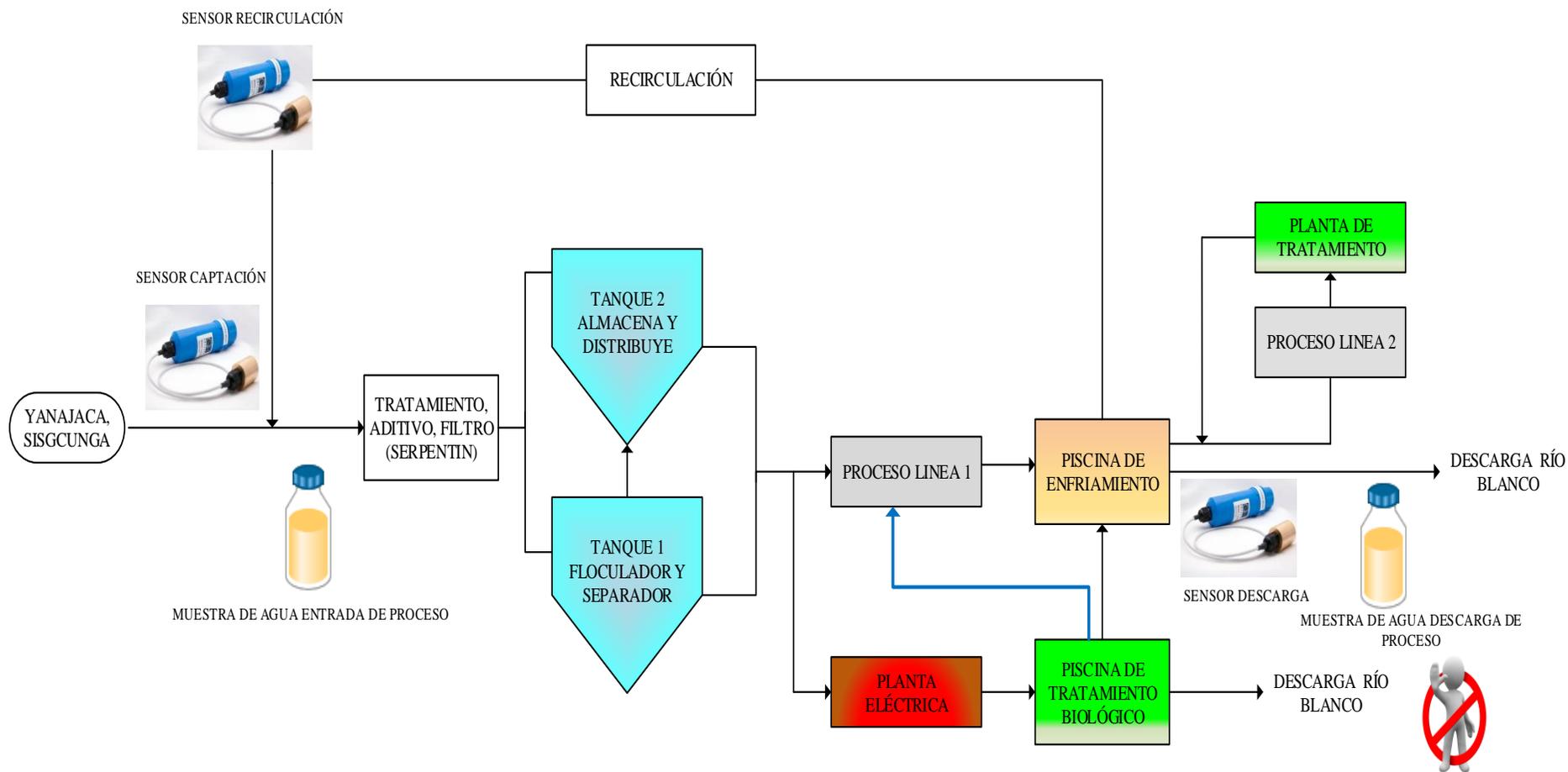


Figura 18. Diagrama de flujo de la ubicación de puntos de muestro para la evaluación del agua de proceso industrial

Fuente: Modificado de la Auditoria Ambiental de Cumplimiento de la industria cementera (2015)

Los equipos capacitivos fueron previamente calibrados e instalados de acuerdo a las condiciones de cada punto siguiendo lo establecido en el manual de instalación y calibración de los sensores capacitivos Dataflow Systems PTY Ltd (2016). En los sitios de captación y recirculación, fueron acoplados a la pared del tanque a una distancia de 20 cm de la aislación del vertedero triangular, desde ese punto se registró la carga de agua sobre el vertedero triangular con abertura de la muesca V de 90°.



Figura 19. Ubicación del sensor capacitivo para el registro de carga de agua sobre el vertedero triangular

Los datos registrados son almacenados en el software que viene adjunto con los sensores capacitivos, y pueden ser exportados a un computador para ser procesados. Con ayuda de Excel y usando la Ecuación 6 de vertedero triangular, se determinó el caudal (l/s) tanto de captación como de recirculación, debido a que los dos puntos de muestreo poseen las mismas condiciones estructurales.

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2} \tan(\phi/2) h^{5/2} \quad \text{Ec 6. Caudal sobre un vertedero triangular}$$

Donde:

- (h) - Carga de agua sobre el vertedero [m]
- (ϕ) - Ángulo de apertura del vertedero [°]
- (Q_t) - Caudal [m³/s]

Para la descarga de agua de proceso se realizó una adaptación estructural en la piscina de recirculación para el adecuado funcionamiento del sensor capacitivo conjuntamente con el vertedero rectangular de pared delgada existente (Figura 20).



Figura 20. Ubicación del sensor capacitivo para el registro de carga de agua sobre el vertedero rectangular

Desde ese punto se registró la carga de agua sobre el vertedero rectangular. Los datos fueron procesados y usando la Ecuación 7, del vertedero rectangular de pared delgada se determinó el caudal (l/s) de descarga.

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} h^{3/2} \quad \text{Ec 7. Caudal sobre un vertedero rectangular de pared delgada}$$

Donde:

- (C_d) - Coeficiente de descarga [0.593]
- (b) - Ancho del canal [m]
- (h) - Carga de agua sobre el vertedero [m]
- (Q_t) - Caudal [m^3/s]

Los registros de carga de agua sobre el vertedero en los tres puntos: captación, recirculación y descarga fueron obtenidos con una periodicidad de 1 hora durante 180 días distribuidos en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2017, enero y febrero del año 2018, durante los 7 días de la semana, realizando inspecciones a los sensores cada 15 días con el objeto de verificar su correcto funcionamiento y de realizar labores de limpieza.

4.2.5. Análisis de la cantidad de agua requerida en el proceso de producción de cemento

Después de los seis meses de muestreo del caudal de captación, recirculación y descarga, y cumpliendo con la metodología propuesta por Hoekstra, *et al.* (2011) se realizó el análisis e interpretación de los valores obtenidos mediante una estadística básica, debido a que los valores de caudales obtenidos en la recirculación no siguen un patrón determinado, más bien tienden a ser bastante aleatorios, como consecuencia del uso circunstancial del sistema de bombeo, que obedece a los requerimientos de producción y muchas veces al criterio del operador o cuidador de turno. La Figura 21 muestra el caudal medio mensual de los meses de septiembre a diciembre del año 2017, así como enero y febrero del año 2018.

De los resultados obtenidos, se evidencia que en el mes de septiembre los caudales son menores a los cinco meses restantes, estos valores se atribuyen a la época ecológicamente seca. En cuanto a octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, se evidencia que los caudales de captación y descarga son mayores, esto se relaciona con el inicio de la época lluviosa.

Si se analiza los meses de época lluviosa (octubre a febrero) se observa que el caudal de recirculación es variable, concordando con la operación manual del sistema de bombeo de la industria, que obedece a los requerimientos de agua de cada área del proceso industrial. Dentro de la industria cementera existe una estación meteorológica Davis Vantage 2TM, la cual registra datos pluviométricos con intervalos de 30 minutos durante las 24 horas del día. Los datos de lluvia obtenidos de dicha estación, evidencian que la precipitación (mm) tiene una relación directa con los caudales de captación y por ende de descarga. Al mes de septiembre, de menor lluvia, le corresponde menor valor del caudal de captación y descarga registrado (Figura 21).

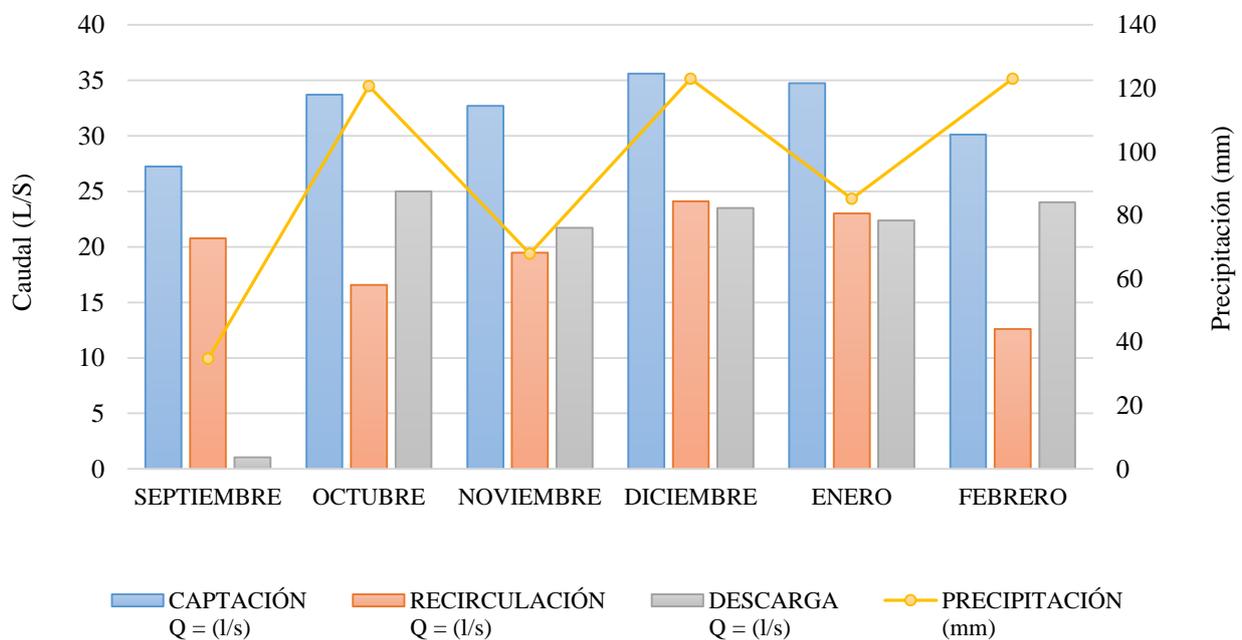


Figura 21. Caudal medio mensual $Q = (l/s)$

4.2.6. Análisis de los resultados

La relación porcentual entre caudales de Recirculación/Captación y Descarga/Captación es inversamente proporcional, es decir, si la recirculación aumenta la descarga disminuye y si la descarga aumenta la recirculación disminuye como se evidencia en los meses de muestreo (Tabla 3).

Tabla 3*Relación entre los caudales de Recirculación/ Captación y Descarga/Captación*

	Recirculación/Captación [%]	Descarga/Captación [%]
Septiembre	76.28	3.85
Octubre	49.12	74.10
Noviembre	59.57	66.38
Diciembre	67.71	65.99
Enero	66.20	64.36
Febrero	41.81	79.81

Según los resultados mostrados en la Tabla 4, se observa que durante el mes de septiembre la descarga representa apenas el 2.19 % del total de agua captada, siendo el 97.8% de agua restante consumida durante el proceso de fabricación del cemento, es decir, en este mes ecológicamente seco la optimización y consumo de agua es eficiente. Por otro lado, durante los meses de octubre a febrero, el promedio del caudal descargado corresponde al 45.13 % del total de agua captada, es decir solo el 54.87 % de agua se utiliza en la producción, esto se debe a que en estos meses existe un aumento de la precipitación (con un promedio de 103.97 mm).

Tabla 4*Agua captada, consumida en la producción y descarga*

	Captación Total		Descarga		Agua consumida	
	[l/s]	[100%]	[l/s]	[%]	[l/s]	[%]
Septiembre	48.02		1.05	2.19	46.97	97.81
Octubre	50.27		24.98	49.69	25.29	50.31
Noviembre	52.21		21.72	41.60	30.49	58.40
Diciembre	59.72		23.50	39.35	36.22	60.65
Enero	57.77		22.37	38.72	35.40	61.28
Febrero	42.70		24.03	56.28	18.67	43.72

4.2.7. Cantidad de agua en consumos adicionales

Para determinar la cantidad de agua destinada para consumos adicionales, se identificó el punto de muestreo situado previo al ingreso del flujo de agua a la planta de tratamiento (Figura 22). El volumen (m^3) de agua de ingreso se registró con un medidor de chorro múltiple (Bar Meters 2”). El registro de los datos de caudal se realizó con una periodicidad de 15 días, cumpliendo con la metodología propuesta.

En la descarga de aguas grises provenientes de consumos adicionales no fue posible efectuar el registro de caudal, debido a la prohibición de ingreso esta área, según lo establecido en las normas de seguridad de la industria cementera. El agua proveniente de la vertiente es netamente utilizada para los consumos adicionales, y es previamente tratada antes de llegar a cada una de las independencias de la planta industrial.

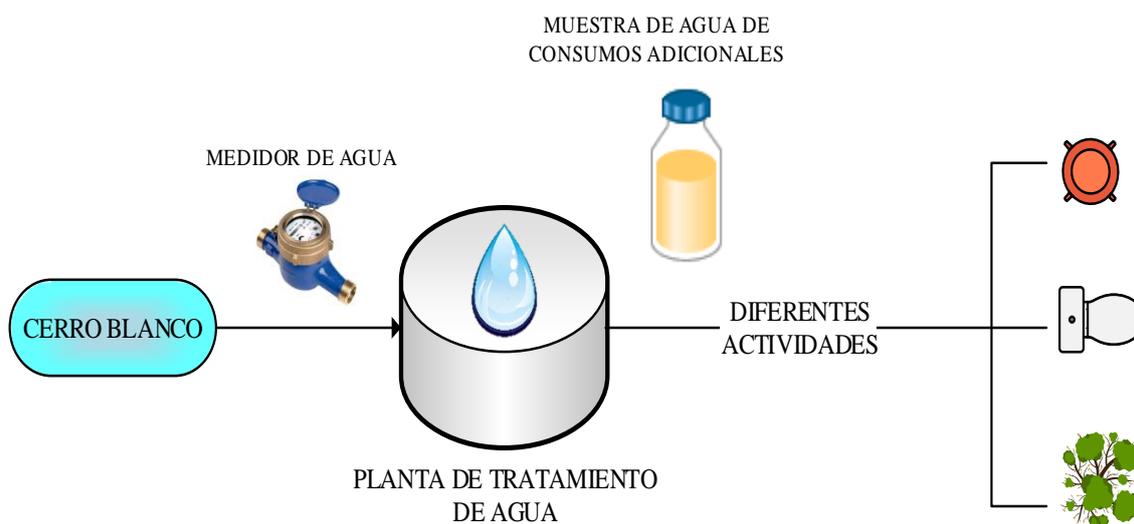


Figura 22. Diagrama de flujo de la ubicación del punto de muestro para la evaluación del agua de consumos adicionales

4.2.8. Análisis de la cantidad de agua de consumos adicionales

El volumen de agua de ingreso a la planta industrial registrado fue un promedio de 102.75 m³/día (1,2 l/s). Este volumen de agua es consumido por alrededor de 232 personas que trabajan en las diferentes áreas de la planta industrial cementera. Bajo esta hipótesis se estimó el consumo de agua por cada trabajador, recalcando que la industria produce las 24 horas en 3 turnos de 8 horas cada uno.

Para la determinación de la dotación de agua para consumo humano se utilizó la norma ecuatoriana de la construcción, capítulo 16 del año 2011. El mismo que establece las dotaciones de consumo de agua para industrias por jornada de trabajo (Tabla 5). Esto, con el objeto de estimar un caudal de descarga de aguas grises, como la suma entre el caudal que ingresa para los consumos adicionales y el caudal utilizado por los trabajadores (dotación), se utilizó un valor de dotación máxima de 120 l/trabajador/jornada.

Tabla 5*Dotaciones para edificaciones de uso específico*

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Talleres, industrias y agencias	l/trabajador/jornada	80 a 120

Fuente: NEC-11, Capítulo 16

El consumo de agua de todos los trabajadores en las tres jornadas de trabajo es de 83.52 m³/día, la descarga obtenida es de 19.23 m³/día (Tabla 6).

Tabla 6*Dotación de agua consumida por m³/trabajador/jornada*

N° de Trabajadores	Jornadas	Dotación de agua [l/hab/día]	Captación [m ³ /día]	Consumo de agua [m ³ /día]	Descarga [m ³ /día]
232	3	120	102.75	83.52	19.23

4.3. Fase 3: Estimación de la huella hídrica y optimización del recurso hídrico

En esta tercera fase se estimó la huella hídrica de la industria cementera según la metodología The Water Footprint Assessment Manual (2011), la huella hídrica es el resultado de la suma de sus componentes: huella hídrica azul, verde y gris. Con los resultados obtenidos se recomendó acciones que se podrían aplicar en la industria cementera para optimizar el consumo del recurso hídrico.

4.3.1. Estimación huella hídrica azul

La huella hídrica azul del proceso de producción se contabilizó en base a la Ecuación 1, descrita en la presente investigación y propuesta por Hoekstra, et al. (2011). La metodología empleada para el cálculo de la huella azul señala que la ecuación debe ser ajustada de acuerdo a las condiciones de cada investigación. Bajo este argumento, la huella hídrica azul calculada para la industria cementera no considera el agua evaporada y el flujo de retorno, al ser un valor despreciable en el primer caso, y un valor con una escala de tiempo muy grande en el segundo.

De los valores obtenidos en la Tabla 7, se puede determinar que la huella hídrica azul, correspondiente a la suma del agua consumida en el proceso de producción y el agua utilizada en los consumos adicionales, en los meses analizados desde septiembre a diciembre del año 2017 además de enero y febrero del 2018, tiene un valor medio de 0.89 m³/Tn_{cemento}, 1.15 m³/Tn_{cemento} para el mes de septiembre que corresponde a la época seca y 0.83 m³/Tn_{cemento} como valor medio de la época lluviosa (octubre a febrero).

Tabla 7
Estimación de la huella hídrica azul

Meses de muestreo	Consumo de agua (proceso industrial) [m ³ /mes]	Consumo de agua (consumos adicionales) [m ³ /mes]	Producción de cemento [Tn/mes]	Huella hídrica azul [m ³ /Tn]
Septiembre	121754.44	2505.60	108221.00	1.15
Octubre	67731.86	2589.12	110738.00	0.64
Noviembre	79015.18	2505.60	106558.00	0.77
Diciembre	97018.49	2589.12	108366.00	0.92
Enero	94800.88	2589.12	72240.00	1.35
Febrero	45166.46	2338.56	95754.00	0.50

4.3.2. Estimación huella hídrica verde

La huella hídrica verde se contabilizó en base a la Ecuación 2 de este trabajo, propuesta por Hoekstra, *et al.* (2011). La ecuación debe ser ajustada a las condiciones de la investigación. Con este argumento, la huella hídrica verde de la industria cementera no considera el agua verde incorporada, al no ser un proceso de extracción de madera o similares, adicionalmente se utilizó la Ecuación 3 de Twornthwaite, para el cálculo de evapotranspiración (Allen, *et al.*, 2006).

De los valores obtenidos, en la Tabla 8, se determinó que la huella hídrica verde correspondiente a la evapotranspiración de las áreas verdes dentro de la industria cementera, en los meses analizados, tiene un valor promedio mensual de 4.3x10⁻⁵ m³/Tn de cemento (Anexo 9).

Tabla 8*Estimación de la huella hídrica verde*

Meses de muestreo	Evapotranspiración [m ³ /mes]	Huella hídrica verde 1x10 ⁻⁵ [m ³ /Tn]
Septiembre	4.19	3.9
Octubre	4.33	3.9
Noviembre	4.19	3.9
Diciembre	4.33	4.0
Enero	4.33	6.0
Febrero	3.91	4.1

4.3.3. Estimación huella hídrica gris

La huella hídrica gris del proceso de producción se determinó en base a la Ecuación 3, propuesta por Hoekstra, et al. (2011). Dicha ecuación contrarresta la concentración del contaminante con la concentración natural de la fuente de agua. En este estudio, para la determinación de la concentración de contaminantes, se consideraron tres parámetros: a) Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) que corresponde a la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar totalmente la materia orgánica biodegradable, b) Demanda Química de Oxígeno (DQO), que es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica, y c) Sólidos totales, que es la cantidad de materia suspendida o disuelta, mismos que, según la metodología de Hoekstra, et al. (2011), son indicadores del grado de contaminación de una industria cementera (Tabla 9).

Tabla 9*Resultados de los parámetros de calidad de agua a ser evaluados*

Parámetros	Captación [mg/L]	Descarga [mg/L]	Valor Límite Permisibles [mg/L]
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	39	43	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	5	10	100
Sólidos Totales	128	140	1600

Fuente: Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental

Se obtuvo que la huella hídrica gris tanto para DQO, como para DBO5 y sólidos totales resultaron ser negativos. Por tanto, según lo planteado en la metodología, puede considerarse que la huella gris de la industria cementera es nula (Tabla 10).

Tabla 10

Resultados de la huella hídrica gris

Demanda Química de Oxígeno (DQO) [m ³ /Tn]	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) [m ³ /Tn]	Sólidos Totales [m ³ /Tn]
-0.206	-0.020	-0.074

4.3.3.1. Análisis de los parámetros (DBO₅, DQO y sólidos totales), año 2017

Debido a que en el periodo de la investigación solo se realizó una muestra para el análisis de calidad de agua, se decidió analizar los parámetros DBO₅, DQO y sólidos totales de los meses de marzo, septiembre y noviembre del 2017, con el objeto de corroborar los resultados obtenidos. En la Tabla 11 se observan los resultados de los análisis de descarga de agua de la industria cementera, los cuales están basados en el Acuerdo Ministerial 097 A. Anexo1. Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente. En el mes de marzo y septiembre el DBO₅ fue relativamente bajo en comparación al mes de noviembre. Por otro lado, el DQO en el mes de noviembre aumentó en comparación a los meses anteriores. Los sólidos totales durante los meses de marzo y noviembre se mantienen iguales, a diferencia del mes de septiembre donde aumenta la presencia de sólidos totales

Tabla 11

Comparación de análisis de agua de descarga

Meses de muestreo	Marzo	Septiembre	Noviembre
Demanda Bioquímica de Oxígeno [DBO ₅] [mg/l]	3	4	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO) [mg/l]	<30	<30	43
Sólidos totales [mg/l]	140	148	140

Fuente: Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental

4.3.4. Estimación de la huella hídrica total

La estimación de la huella hídrica total se contabilizó en base a la Ecuación 4, que se calcula como la suma de sus componentes: la huella azul ($WF_{\text{proc,blue}}$), huella verde ($WF_{\text{proc,green}}$) y huella gris ($WF_{\text{proc,greys}}$)

- $WF_{\text{proc,blue}} = 0.89 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cemento}}$
- $WF_{\text{proc,green}} = 0.000043 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cemento}}$
- $WF_{\text{proc,greys}} = 0 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cemento}}$

La estimación de la huella hídrica en la industria cementera de la provincia de Imbabura es de $0.89 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cemento}}$, recalando que el valor más significativo es el de la huella hídrica azul, excluyendo la huella verde y gris por ser valores mínimos que no alteran el resultado final.

El resultado de la huella hídrica de esta investigación es relativamente bajo en comparación con otras industrias cementeras (Tabla 12). Esto se debe a la variación de metodologías empleadas, alcance de las investigaciones, y condiciones climatológicas del lugar en donde se encuentran la industria. Comparando la industria cementera de Medellín-Colombia con la de Imbabura- Ecuador, a pesar que se usa la misma metodología y las condiciones climáticas son semejantes, la huella hídrica de Colombia es tres veces mayor, debido a que la huella hídrica de la industria de Colombia considera también la extracción de las materias primas.

Por otro lado, las industrias del Perú (Atocongo y Condorcocha) con la de Imbabura – Ecuador, la huella hídrica de las cementeras de Perú es dos veces mayor. Esto se debe a las diferentes metodologías utilizadas y a la diferencia de condiciones climáticas. En Perú, en el sitio de ubicación de las industrias, las condiciones climatológicas son desérticas a lo largo de casi todo el año, lo que hace que exista un alto estrés hídrico, mientras en Ecuador la climatología está marcada por una época seca y otra de lluvia.

Tabla 12*Comparación de resultados de la investigación con otros estudios*

Industria	Metodología	Huella hídrica [m ³ /Tn]
Planta Río Claro Cementera Argos - Colombia	Manual Water Footprint	3.33
Cementera UNACEM Planta Atocongo – Perú	Pfister	2.10
Cementera UANACEM Planta Condorcocha – Perú	Pfister	2.23
Cementera de la provincia de Imbabura – Ecuador	Manual Water Footprint	0.89

La huella hídrica de la industria cementera de la provincia de Imbabura es positiva en comparación con los estudios antes mencionados, acotando que podría ser un valor aún menor si se aplica un rediseño y optimización del consumo de agua en la producción de cemento.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se identificaron tres etapas, de las cuales dos consumen agua de manera directa: producción y autogeneración de energía eléctrica, mientras que una lo hace de manera indirecta: consumos adicionales. La piscina de enfriamiento aporta favorablemente a la reducción del consumo de agua en el proceso de producción de cemento, debido a la recirculación y uso de esta agua en la autogeneración de energía eléctrica.

En cuanto a los parámetros de calidad de agua analizados DQO, DBO y sólidos totales, muestran que tanto el agua captada como la descargada por la industria cementera están dentro de los límites permisibles por el TULAS (2015), cumpliendo con la normativa ecuatoriana referente a calidad de agua.

El promedio del caudal captado en época lluvia fue de 33.38 l/s, el 30.13 % se utiliza durante el proceso de producción, devolviendo a la cuenca el 69.86 % restante; mientras que, en época seca del caudal de 27.24 l/s, se consume un 96,15 % y apenas un 3,85 % retorna a la cuenca, es decir, en la época seca el consumo de agua, es mucho más eficiente que en época lluviosa. En cuanto a consumos adicionales, la estimación de la cantidad de agua utilizada de manera indirecta, se obtuvo de acuerdo a los valores de dotación para edificaciones de uso específico establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011) (NEC-11, Capítulo 16).

De los tres componentes de la huella hídrica de la industria cementera, el principal es la huella azul. La huella verde y gris puede despreciarse, debido a que los resultados obtenidos en el cálculo de la huella verde arrojaron valores mínimos, mientras que para la huella gris se obtuvo un resultado negativo. La huella hídrica media obtenida en los meses de análisis es de 0.89 m³/Tn de cemento.

5.2. Recomendaciones

Automatizar las bombas de succión del caudal de recirculación, con el propósito de optimizar el recurso hídrico y disminuir el agua de descarga.

Rediseñar los reservorios de captación de agua para su uso en procesos, debido a que el caudal que ingresa en época de lluvia, sobrepasa al que se requiere para la producción, llegando a desbordarse cuando se tienen precipitaciones intensas. El rediseño deberá incluir una compuerta automatizada que permita regular el flujo e impedir el ingreso de caudal cuando el reservorio esté lleno.

Rediseñar los vertederos triangulares de captación y recirculación para los rangos de caudales con que trabajan durante todo el año hidrológico; debido a que cuando aumenta el caudal, los vertederos se ahogan, imposibilitando registrar datos confiables y reales.

La industria cementera de Imbabura tiene una huella hídrica baja, comparada con los valores registrados en otras industrias cementeras (hasta 50% menor), que podría reducirse más si se optimizara el caudal captado en la época de lluvia, con la implementación de sistemas de bombeo automáticos y la aplicación de buenas prácticas ambientales.

Continuar con esta investigación para un año completo de registro de datos, para definir como es la variación temporal de los caudales de captación, recirculación y descarga, y por ende determinar el valor de la huella hídrica tanto en época seca como lluviosa con mayor presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J. A. (1993). *Priorities for water resources allocation and management*. London: ODA.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Servicios de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 6, 101-126.
- Arteta, A., Azar, K., Bula, J., Duarte, L., García, J., Iglesias, R., Pérez, M., Téllez, J., & Vega, M. (2008). La disputa por los recursos naturales. *Memorias. Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, 4 (8), 1-28.
- Código Orgánico del Ambiente (2017). *Registro Oficial 983*. (12 de abril del 2017).
- Constitución de la República del Ecuador (2008). *Registro Oficial 449*. (20 de octubre 2008).
- Cueto, D. (2016). *Gestión Sostenibles desde la Medición de Huellas Ambientales*. Ponencia presentada en el XXXIII Congreso Técnico FICEM 2016. Cartagena - Colombia.
- Chenoweth, J., Hadjikakou, M., & Zoumides, C. (2013). Quantifying the human impact on water resources: a critical review of the water footprint concept. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10, 9389-9433. doi:10.5194/hessd-10-9389-2013.
- Díaz, S., Martínez, P., & Willaarts, B. (2015). *Huella hídrica y huella virtual de Cantabria*. España: Cantabria. F.C.C. Aqualia / Fundación BOTÍN.
- Dueñas, R. (2012). *EKOS:Negocios. Cemento oligopolio*, 214, 94.

- Echeverri, X. (2014). *Estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro, Argos*. (Tesis de postgrado) Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Empresa de cementos Selva Alegre S.A. (2004 – 2005). *Planta de procesamiento de cementos “Selva Alegre”*. Otavalo: Autor.
- Ercin, E. A., & Hoekstra, A. Y. (2012). *Carbon and Water Footprints: Concepts, Methodologies and Policy Responses*. (World Water Assessment Programme; No 4). Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Gait, N., & Pierotto, M. (2010). *Contaminación y contaminantes del agua. Salud Ambiental Infantil: manual para enseñanza de grado en escuelas de medicina*. 1ª ed. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación. Organización Panamericana de la Salud.
- Gil, D., Vilches, A., Toscano J., & Macías, Ó. (2006). Década de la educación para un futuro sostenible 2005 – 2014. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40, 125 – 178.
- Gonzales, V., Montoya, L., Botero, A., Arévalo, D., & Valencia, V. (2012). Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la Minería de Oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia). *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, (7), 27-44.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Quichinche. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial se San José de Quichinche (Actualización 2015-2019)*. Otavalo: Autor.
- Hernández, G. (2005). *Identificación de Procesos de Negocio*. *Revista de Ingeniería Industrial*, 26 (1), 54-59.

- Hoekstra, A. (2003). *Virtual water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. Value of Water Research Report Series No. 12. IHE DELFT, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Hoekstra, A. (2009). *Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological Footprint and Water Footprint Analysis, Ecological Economics*. The Netherlands. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.021
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2007). *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*. Science + Business Media B.V. DOI:10.1007/s11269-006-9039-x
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Oxford, UK: Blackwell. DOI:10.1002/9780470696224
- Hoekstra, A., & Hung, P. (2002). *Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of Water Research Report Series No. 11. IHE DELFT: The Netherlands.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual; Setting the Global Standard*. London: Earthscan.
- Hughes, K. (1997). *The Strategic Importance of Water*, 27 (1), 65-83. [Portal en línea]. Disponible: <http://www.carlisle.army.mil/usawc/Parameters/97spring/butts.htm> [Consulta: 2017, Agosto 02].
- Industria cementera de la provincia de Imbabura. *Auditoría ambiental de cumplimiento (2014 – 2016)*. Otavalo: Autor.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014). *Registro Oficial 305*. (06 de agosto del 2014).

Organización de las Naciones Unidas. (2011). Conferencia Internacional de ONU-Agua. *El agua en la economía verde en la práctica: Hacia Rio+20*. Conferencia llevada a cabo en el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas [ONU-DAES], Zaragoza-España.

Robles, B. (2011). *La entrevista en profundidad: Una técnica útil dentro del campo antropológico*. México: Cuicuilco. Escuela Nacional de Antropología e Historia, INAH, 52, 39-49.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021. Toda una Vida. Quito: Autor.

Suizagua. (2015). Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, *Alianza público-privada, para la medición, reducción y divulgación sobre la huella hídrica*. Disponible: <https://www.shareweb.ch/site/Suiz-AguaColombia/Documents/>

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015). *Acuerdo Ministerial 061*. (04 de mayo del 2015).

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista acerca de la caracterización de las actividades desarrolladas en la industria cementera.

EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, PROVINCIA DE IMBABURA

Autores: Natuta Yépez Jorge Luis

Potosí Potosí Yesenia Irene

Resumen de las entrevistas al personal técnico encargado de cada área en la industria cementera, para dar cumplimiento al primer objetivo de la investigación: Caracterizar las actividades desarrolladas de la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura.

Proceso industrial

- Entrevista de correspondencia

1. ¿Cuántas personas trabajan en esta área y en cuantos turnos?

En la planta industrial cementera trabajan 232 personas, las cuales laboran en turnos de 8 horas, en tres jornadas al día, durante los 3 días del año.

2. ¿Para caracterizar la industria poseen alguna metodología?

No poseen una metodología, lo más importante entender desde el acopio de las materias primas hasta el empaquetado del cemento, es decir seguir una secuencia en la elaboración del cemento, cumpliendo con todas las normas de salud y seguridad ocupacional.

3. ¿De qué fuente hídrica proviene el agua requerida para el proceso de producción?

Proviene de dos fuentes hídricas las cuales son: Yanajaca y Sigsicunga. Estas son las principales fuentes para abastecer de agua a la industria cementera durante el proceso de producción.

4. ¿Describa cada una de las fases del proceso de producción que se realiza en su área de trabajo?

Para el proceso de producción del cemento en la línea 1 y 2 las etapas son:

- La recepción y almacenamiento. – Acopio de las diferentes materias primas (arcilla, yeso, caliza, puzolana, sílice, mineral de hierro).
- Dosificación y conducción. - Las materias primas para la dosificación y luego pasan al molino vertical de donde se homogeniza para dar como resultado la harina de crudo.
- Molienda y homogenización. - Se toma las materias primas y se homogenizan para pasar al molino de rodillo.
- Precalentamiento, calcinación y enfriamiento. - El proceso de precalentamiento la harina de crudo se calienta a altas temperaturas, en la calcinación se transforman todos los materiales para elaborar el clínker, finalmente se enfría este material.
- Almacenamiento del clínker. - El clínker enfriado es almacenado en un silo adecuado.
- Pre- trituración del clínker. En esta etapa se tritura el clínker, además se pre- tritura el yeso y la puzolana.
- Dosificación de productos adicionales. - Para la elaboración del cemento se utiliza como materia principal el clínker al cual se añade yeso y puzolana.
- Molienda del cemento. - El clínker, yeso y puzolana una vez dosificados y verificados, pasan a la molienda para convertirse en cemento.
- Almacenamiento del cemento. Para el almacenamiento del cemento la línea 1 y 2 cuentan con cinco silos los cuales están conectados al sistema de despacho a granel y envasado.
- Empaque del cemento. - El producto es empaquetado en sacos de 50 kg y a granel, luego es despachado a los diferentes distribuidores a nivel nacional.
- Autogeneración de energía eléctrica. - La industria cuenta con su propia planta de autogeneración de energía eléctrica, con una potencia nominal de 33.45 MW autorizada por el CONELEC.

5. ¿Cuál es la diferencia entre línea 1 de la línea 2 de producción?

La principal diferencia entre a la línea 1 y 2 es que: La línea 1 dispone de una torre de precalentamiento de cuatro etapas, con un sistema de flujo de gases del horno, la línea 2 tiene una torre de precalentamiento de cinco etapas.

6. ¿En esta área de trabajo se consume agua y cuáles son los puntos más críticos de consumo de agua?

En las áreas de Optimización, Ecología Industria, Planta eléctrica, Ambiente y Relaciones comunitarias y Asistente de Ambiente se consume agua en la parte hidrosanitaria.

En el proceso industrial los puntos de más consumo del recurso hídrico son: la molienda y homogenización, en el precalentamiento, calcinación y enfriamiento, almacenamiento del clínker, pre-trituración del clínker, dosificación de productos adicionales, molienda del cemento. Además, en la central termoeléctrica y en los consumos adicionales.

7. ¿Cómo se consume el agua durante el proceso industrial?

En el proceso industrial se consume el agua en forma de aspersión o nebulización para evitar que la materia prima se pegue en las paredes de los equipos, también en el enfriamiento del clinker.

8. ¿Tienen registros del consumo de agua en el proceso industrial?

El registro de datos del caudal de captación, recirculación se registran una vez al día, la medición se realiza con una regleta horizontal para medir la carga de agua sobre el vertedero, este registro lo realiza el guardia de seguridad y el encargado del área. Para la descarga de agua no se tiene registros.

9. ¿Cómo es la caracterización del área de autogeneración de energía eléctrica?

Cuenta con una casa de máquinas, las cuales tienen siete grupos termoeléctricos y cuenta con dos salas de control eléctrico. También posee un patio de transformación de energía eléctrica.

10. ¿Cómo funciona la piscina de recirculación en la industria cementera?

La piscina de recirculación posee un tratamiento biológico con lechugines antes de ser descargada. El proceso de recirculación inicia cuando se encienden las bombas de succión y cuando el agua de captación no abastece al proceso de producción.

- Entrevista de análisis

1. ¿La extracción de materias primas se atribuye a concesiones de la empresa o es independiente?

La extracción y transporte de las materias primas son independientes de la industria cementera.

2. ¿Cuáles son las fases más relevantes del proceso de producción?

Cada fase es importante en el proceso de fabricación del cemento, ya que es un proceso secuencial. El más importante es la molienda final del cemento ya que en ese proceso se incorporan los insumos de acuerdo a los requerimientos de los consumidores.

3. ¿Cómo se realiza el enfriamiento del clinker?

Para el enfriamiento del clinker se utiliza ventiladores de alta eficiencia, ya que el clinker sale a más de 1000 °C, cuando el proceso de enfriamiento a través de los ventiladores no es suficiente se procede a utilizar agua en forma de aspersión y nebulización.

4. ¿En qué etapas se consume el agua dentro del proceso de producción?

Se consume agua en las etapas de molienda y homogenización, precalentamiento, calcinación y enfriamiento, almacenamiento del clinker, pre-trituración del clinker, dosificación de productos adicionales finalmente en la molienda del cemento. Además, se consume agua en la central termoeléctrica y en los consumos adicionales.

5. ¿Influye las condiciones en las que ingresa la materia prima con respecto al consumo de agua, de qué manera?

Las condiciones en la que llegue la materia prima no tiene una influencia significativa en el consumo de agua, ya que el porcentaje de humedad en las materias primas es bajo

6. ¿Cuál es el aporte de la autogeneración de energía eléctrica a la industria?

Es aporte más importante es que no se consume energía eléctrica del sistema interconectado CONELEC.

7. ¿Cómo se cuantifica el caudal de recirculación de la planta industrial?

Para la cuantificación del caudal de recirculación del agua en el proceso industrial, se realiza a través de un vertedero rectangular, y se registra con una regleta horizontal la carga de agua sobre el vertedero.

8. ¿Poseen registros del caudal de captación y descarga?

Se tiene registros del caudal de captación, el registró es una vez al día, con una regleta horizontal y lo realizan los encargados del área. Para la descarga no se cuenta con registros.

9. ¿Poseen registros del caudal de recirculación?

Se cuenta con un registro del caudal de recirculación, el registro es de una vez al día, las condiciones de producción influyen directamente sobre el caudal de recirculación.

10. ¿El agua que descarga la industria cementera es previamente tratada?

El agua de descarga es previamente tratada con un sistema de tratamiento biológico con plantas acuáticas como los lechugines.

A. Consumos adicionales

- Entrevista de correspondencia

1. ¿De qué fuente hídrica proviene el agua para consumos adicionales?

La fuente principal es cerro blanco, la que abastece de agua para el consumo humano e hidrosanitario.

2. ¿Cuál es el recorrido del agua de consumos adicionales?

El recorrido de consumos adicionales empieza en la captación de cerro blanco, luego llega a la planta de tratamiento y es distribuido a las diferentes independencias.

3. ¿En cuántas independencias se encuentran instalaciones hidrosanitarias?

Las instalaciones hidrosanitarias de encuentran en todas las independencias de la industria cementera.

4. ¿Cómo se realiza el uso del agua para áreas verdes?

El uso para áreas verdes se utiliza a través de un tanquero que en su mayoría están cubiertas por césped.

5. ¿Poseen registros de captación y descarga de agua de consumos adicionales?

Para el registro del volumen de captación, se tiene registros los cuales se realizan a través de un balde dividido por el tiempo en que se llena. La descarga de consumos adicionales no cuenta con registros ya que posee un sistema de infiltración denominado “espina de pescado” la cual está en un campo filtrante.

- Entrevista por análisis

1. ¿Qué tipo de tratamiento de agua se realiza para el agua de consumos adicionales?

El principal proceso de tratamiento de agua es por medio de un tratamiento biológico a través de plantas acuáticas en este caso lechugines (*Eichhornia crassipes*).

ÁREA	TÉCNICO ENCARGADO
Optimización	Ing. Fausto Navarro
Ecología Industria	Ing. Patricio Díaz
Planta eléctrica	Ing. Roque Pacheco
Ambiente y Relaciones comunitarias	Ing. María Gabriela Salazar
Asistente de Ambiente	Ing. Silvana Báez

Anexo 2. Cadena de custodia de muestras de agua

		CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS				Página <u>1/1</u> Edición 0			
Matriz: <input checked="" type="checkbox"/> AGUAS <input type="checkbox"/> SUELOS <input type="checkbox"/> MP <input type="checkbox"/> LIXIVIADOS <input type="checkbox"/> ALIMENTOS <input type="checkbox"/> GASES <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>		Fecha: <u>08/Nov/2017</u>							
Proyecto: <u>N.A.</u>		Datos del Laboratorio							
Empresa: <u>Industria cementera</u>		Nombre: <u>CESTTA</u>							
Dirección: <u>Olaivalo, km 1/2 vía Selva Negra-</u>		Dirección/Teléfono: <u>Riobamba- Panamericana Sur Km 1 1/2 (03-3013183)</u>							
Persona de Contacto: <u>Ing. Silvana Baez.</u>		Jefe Laboratorio: <u>Ing. Marcela Frajo</u>							
N°	Código de Muestra	Punto de Muestreo/Descripción	Coordenadas	Hora	Muestreado por	Transportado por	Tipo de muestra	Parámetros a ser Analizados	Observaciones
1	A-2	Entrada (Agua de proceso)	PN798579 26461	14:30	Glennson	Personel	Residual	A46; Cloruro Total; Cloriformo; Cloruro; CF; Col. Real; Fenoles; Cr6+; DBO; DB5; Fluoruro; Fósforo total; TPH5; Hg; Vanilic acid; N total Kjeldahl; Dignidad; Total Fe; Dignidad; Total Fe; Susp; Sol Total; Sulfato; Tensioactivos; Total Fósforo de Carbono; KIAs; Ba; Bi; Cd; Zn; Cu; Cobalto; Estano; Fe; Mn; Ni; Pt; Pb; Se.	
2	A-3	Salida (Agua de proceso)	PN798643 26417	14:45	Glennson				
3	A-1	Entrada (consumo humano)	PN794548 26684	15:00			Consumo	A46; CF; Cu; Col. Real; Cr6+; Fluoruro; DBO; DB5; Hg; Ni; NO3; NO2; pH; Sulfato; TPH5; Vanilic acid; As; Ba; Cd; Cu; Fe; Pb; Se.	
DATOS ADICIONALES									
Datos Adicionales - Muestreo:		Responsable empresa:		Entrega/Envía/Fecha		Recibe/Fecha			
Dirección: <u>km 1/2 vía Selva Negra.</u>		Nombre del cliente / Encargado: <u>Elizabeth Leizaola</u>		Responsable: <u>Elizabeth Leizaola</u>		Responsable:			
Ciudad: <u>Olaivalo</u>		C.I.: <u>100350017-4</u>		Firma:		Firma:			
Provincia: <u>Imbabura</u>		FIRMA: 							
Orden de trabajo N°: <u>317-11</u>									

Anexo 3. Protocolo de muestras



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

PROTOCOLO DE MUESTREO DE AGUAS

La toma de muestras líquidas sigue el siguiente procedimiento:

- Ubicar el punto de muestreo.
- Identificar el punto de muestreo (fecha, hora, coordenadas UTM)
- Preparar el material y equipo (verificación de equipos y etiquetado de envases).
- Enjuagar 2 a 3 veces con la fuente de agua que se va a muestrear, desechando el agua de enjuague.
- Recoger la muestra sin dejar cámara de aire. Se puede dejar un mínimo sin llenar que permita la variación de volumen debida a potenciales diferencias térmicas. Si se le va a agregar algún conservante contemplar el volumen necesario para el mismo.
- Llenar los recipiente con la muestra ubicando el envase semi sumergido en el agua.
- Determinar los parámetros in situ.
- Añadir los conservantes de acuerdo a cada parámetro o conjunto de parámetros.
- Cerrar el envase asegurando su cierre hermético.
- Si no estaba rotulada la botella roturarla con tinta indeleble. Siempre tener papel y cinta adhesiva para emergencias o muestras no planificadas. En cada botella se debe especificar el tipo de conservante si lo tiene y parámetros a ser analizados.
- Colocar hielo en el cooler.
- Ubicar los envases con las muestras en el interior del cooler.
- Llenar los datos en la cadena de custodia (parámetros a analizar, fecha y hora de muestreo, número de muestras, persona que toma la muestra, persona de contacto).
- Aprobar la cadena de custodia con la persona que solicita el análisis.
- Enviar el cooler más la cadena de custodia en transporte terrestre al laboratorio.
- Ingresar al laboratorio la muestra utilizando los datos de la cadena de custodia.
- Asignar un código interno de laboratorio a la muestra ingresada.
- Designar la muestra al responsable técnico del área para su distribución y análisis.
- Emitir los resultados al área de gestión para la elaboración del informe de resultados.
- Entregar al departamento de proyectos para la interpretación y elaboración del informe final.
- Entrega de informe al cliente.



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

Procedimiento

a) Etiquetado:

Para las muestras tomadas se utilizan etiquetas adhesivas. En donde consta la siguiente información:

- Número de la muestra
- Nombre de la persona que toma la muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Lugar de muestreo.
- Coordenadas UTM (WGS 84)

Se adhiere las etiquetas a los envases, la etiqueta se rellena con tinta indeleble en el momento de la toma.

b) Cadena de Custodia:

Toda la información pertinente a la toma de muestra se registra en la cadena de custodia, en la cual consta lo siguiente:

- Fecha; es el día en el cual se ha tomado la muestra.
- Matriz; elegir la matriz en la cual ingresa según el tipo de muestra.
- Proyecto; se identifica el proyecto o contrato mediante el cual se realiza el muestreo.
- Empresa; se identifica la empresa en la cual se realiza el muestreo.
- Dirección; ubicación de la Empresa en la cual se muestrea.
- Persona de contacto; persona que solicita el muestreo y a nombre de la cual se emite el informe.
- Número de muestra o muestras que se tomaron.
- Punto de muestreo / Descripción; identificación del punto y característica particular del mismo.
- Coordenadas; coordenada en formato UTM y en sistema WGS 84.
- Hora; la hora de muestreo.
- Muestreado por; nombre del técnico asignado para el muestreo in situ.
- Transportado por; personal CESTTA ya que puede ser transportado por personal particular el mismo que ingresa al laboratorio las muestras.
- Tipo de muestra; clasificación de la muestra dentro de una matriz (Matriz aguas, tipo de muestra descarga o inmisión)



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

- Parámetros a ser analizados; parámetro individual o tabla
- Observaciones; se escribe los valores y parámetros in situ, además de algunas observaciones durante el muestreo.
- Datos Adicionales; en donde se escribe la firma del cliente que solicita además de su número de cedula.
- Entrega/Envía/Fecha; nombre y firma del técnico que realiza el muestreo y la fecha en que es aprobado dicho documento.

Recibe/Fecha; nombre y firma del técnico que recibe y realiza el ingreso en el laboratorio.

c) **Envío de la muestra al laboratorio:**

La muestra es enviada al laboratorio lo antes posible bajo las condiciones de preservación necesarias, e irá acompañada del registro de la cadena de custodia.

d) **Recepción de la muestra:**

- En el laboratorio, la persona encargada recibe la muestra e inspecciona su estado y la vialidad o no vialidad de la realización del ensayo según el procedimiento específico de ensayo respectivo.
- Se verifica la información de la etiqueta de la botella con la del registro de la cadena de custodia y la oferta de trabajo.
- Se asigna un código de laboratorio a cada muestra y se genera la distribución de trabajo respectiva.
- La muestra y distribución de trabajo es entregada al responsable del área.

e) **Asignación de la muestra para ser analizada:**

- El responsable técnico de cada área asigna las muestras y parámetros a ser realizados por cada analista de acuerdo a su cualificación y autorización.
- El analista procederá a realizar los análisis de acuerdo a lo establecido en cada procedimiento específico de ensayo de acuerdo al parámetro

Método de toma de muestras



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

a) Envases de la muestra

Los envases que se utilizan para el muestreo son:

TIPO DE MUESTRA	PARAMETRO	CANTIDAD	ENVASE	CONSERVACION
AGUAS NATURALES	HAPS	1 L	VIDRIO AMBAR	-
	PH	1 L	PLASTICO/VIDRIO	-
	DQO		VIDRIO	AC.SULFURICO (ph)
	CONDUCTIVIDAD		PLASTICO/VIDRIO	-
	SOLIDOS TOTALES		PLASTICO/VIDRIO	-
	BARIO		PLASTICO	AC.NITRICO (ph 2)
	CROMO			
	PLOMO			
VANADIO				
AGUAS RESIDUALES	FENOLES	0,5 L	VIDRIO	AC.SULFURICO (ph)
	CLORUROS	1 L	PLASTICO/VIDRIO	-
	CLORO LIBRE Y RESIDUAL		PLASTICO/VIDRIO	-
AGUAS NATURALES Y RESIDUALES	SULFATOS	1 L	PLASTICO/VIDRIO	-
	N-AMONICAL		PLASTICO/VIDRIO	AC.SULFURICO (ph)
	FLORUROS		PLASTICO/VIDRIO	-
	TPH	1 L	VIDRIO	-
	COLIFORMES FECALES	0,5 L	ESTERIL	-

b) Conservación de muestras

Las muestras se conservan de la siguiente manera:

- H₂SO₄ (ácido sulfúrico) hasta pH < 2 (con 2 mL de ácido por litro de muestra es suficiente). En esta muestra se realizará el análisis de DQO y TPH.
- Na₂S₂O₃ (tiosulfato de sodio) al 8% (1 mL por cada litro de muestra). En esta muestra se realizará el análisis de HAPs.
- Los parámetros de pH y conductividad deben ser analizados lo antes posible y si esto no es viable conservar la muestra a una temperatura ≤ 6°C y realizar el ensayo en el menor tiempo posible.

NOTA: Todas las muestras son transportadas bajo refrigeración.



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

Material y Equipo de campo utilizado

Para el muestreo se utilizó los siguientes materiales y equipos:

- Multi paramétrico HACH
- GPS
- Coolers
- Pipeta de 1 ml
- Ácido Sulfúrico
- Tiosulfato de sodio
- Guantes de látex
- Cadenas de custodia
- Etiquetas
- Cinta de embalaje
- Envases de vidrio y plástico
- Bailer

Anexo 4. Resultado de análisis de aguas de entrada agua de proceso.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	---

INFORME DE ENSAYO No: AUN- 025-17
ST: 012 – 017 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: Industria cementera
Atn. Ing. María Salazar
Dirección: Km 7 1/2 vía a Selva Alegre sector Perugachi
 Otavalo-Imbabura

FECHA: 30 de Noviembre del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/11/09 – 08:30
FECHA DE MUESTREO: 2017/11/08– 14:30-17:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/11/09 - 2017/11/30
TIPO DE MUESTRA: Residual
CÓDIGO CESTTA: LAB- AUN 25-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-2
PUNTO DE MUESTREO: Km.7.5 Vía Selva Alegre. Entrada Agua de Proceso
 17N 798579/26461
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ghinson Guevara
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Cloro activo (IN SITU)	PEE/CESTTA/12 Standard Methods, 4500- Cl G	mg/L	<0,2	±22%	-
*Materia Flotante	Visual	-	Ausencia	---	Ausencia
Aceites y Grasas	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	30,0
Cianuro Total	PEE/CESTTA/22 Standard Methods Ed. 22. 2012 4500-CN- C y E	mg/L	<0,017	±12%	0,1
*Cloroformo	Cromatografía de Gases	mg/L	< 0,00001	---	0,1
Cloruros	PEE/CESTTA/15 Standard Methods No. APHA 4500-Cl- C	mg/L	<10	±4%	1000
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	7900	±20%	2000
Color Real	PEE/CESTTA/61 Standard Methods Ed. 22.2012 2120 C	Pt/Co	<8	±25%	Inapreciable en dilución 1/20
Fenoles	PEE/CESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	<0,02	±29%	0,2
Cromo Hexavalente	PEE/CESTTA 32 Standard Methods No 3500 –Cr B	mg/L	<0,02	±22%	0,5
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	39	±13%	200

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
 MC01-14

Página 1 de 3
 Edición 1



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	5	±32%	100
Fluoruros	PEE/CESTTA/73 Standard Methods No. 4500 F-D	mg/L	<0,3	±20%	5,0
Fosforo total	PEE/CESTTA/ 21 Standard Methods No. 4500-P B5/APHA 4500-PC	mg/L	<1,7	±23%	10,0
Hidrocarburos totales	PEE/CESTTA/07 TNRCC 1005	mg/L	< 0,20	±26%	20,0
Mercurio	PEE/CESTTA/34 EPA 3015A/EPA 245.1/EPA 7470A	mg/L	<0,001	±29%	0,005
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	1,22	±8%	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	<4	±16%	50,0
*Organoclorados Totales	PEE/CESTTA/130 GC	mg/L	< 0,00012	---	0,05
*Organofosforados Totales	PEE/CESTTA/131 GC	mg/L	< 0,00046	---	0,1
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	6,62	±0,2	6-9
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	130
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	128	±12%	1600
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500- SO ₄ ²⁻ E	mg/L	<8	±25%	1000
Sulfuros	PEE/CESTTA/ 19 Standard Methods, Ed. 22. 2012 4500-S ²⁻ CyD	mg/L	0,02	±22%	0,5
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	<0,05	±24%	0,5
*Tetracloruro de carbono	Cromatografía de gases	mg/L	< 0,00001	---	1,0
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±8%	5,0
Arsénico	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±22%	0,1
Bario	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±15%	2,0

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 2 de 3
Edición 1

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	---	--

Boro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	2,0
Cadmio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,004	±20%	0,02
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	5,0
Cobre	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±18%	1,0
*Cobalto	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	---	0,5
*Estaño	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	---	5,0
Hierro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	4,45	±16%	10,0
Manganeso	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,056	±23%	2,0
Níquel	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±25%	2,0
Plata	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±17%	0,1
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	0,2
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	0,1
Temperatura	PEE/CESTTA/04 Standard Method No 2550 B	°C	14,8	±7%	Condición natural ±3

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración
- "Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE".
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial 097A. Anexo1. Libro VI. Solicitados a petición del cliente.
- Muestras Compuestas por 3 horas

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

Página 3 de 3
Edición 1

MC01-14

Anexo 5. Resultado de análisis de aguas de salida agua de proceso.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telfax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: AUN- 026-17
ST: 012 – 017 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: Industria cementera
Atn. Ing. María Salazar
Dirección: Km 7 1/2 vía a Selva Alegre sector Perugachi
 Otavalo-Imbabura

FECHA: 30 de Noviembre del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/11/09 – 08:30
FECHA DE MUESTREO: 2017/11/08 – 14:45-17:45
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/11/09 - 2017/11/30
TIPO DE MUESTRA: Residual
CÓDIGO CESTTA: LAB- AUN 26-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-3
PUNTO DE MUESTREO: Km7.5 Vía Selva Alegre. Salida Agua de Proceso
 17N 798643/26417
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ghinson Guevara
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Cloro activo (IN SITU)	PEE/CESTTA/12 Standard Methods, 4500- Cl G	mg/L	<0,2	±22%	-
*Materia Flotante	Visual	-	Ausencia	---	Ausencia
Aceites y Grasas	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	30,0
Cianuro Total	PEE/CESTTA/22 Standard Methods Ed. 22. 2012 4500-CN- C y E	mg/L	<0,017	±12%	0,1
*Cloroformo	Cromatografía de Gases	mg/L	< 0,00001	---	0,1
Cloruros	PEE/CESTTA/15 Standard Methods No. APHA 4500-Cl- C	mg/L	<10	±4%	1000
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	100	±20%	2000
Color Real	PEE/CESTTA/61 Standard Methods Ed. 22.2012 2120 C	Pt/Co	<8	±25%	Inapreciable en dilución 1/20
Fenoles	PEE/CESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	<0,02	±29%	0,2
Cromo Hexavalente	PEE/CESTTA 32 Standard Methods No 3500 –Cr B	mg/L	<0,02	±22%	0,5
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	43	±13%	200

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-14

Página 1 de 3
 Edición 1



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	10	±32%	100
Fluoruros	PEE/CESTTA/73 Standard Methods No. 4500 F-D	mg/L	0,55	±12%	5,0
Fosforo total	PEE/CESTTA/ 21 Standard Methods No. 4500-P B5/APHA 4500- PC	mg/L	<1,7	±23%	10,0
Hidrocarburos totales	PEE/CESTTA/07 TNRCC 1005	mg/L	< 0,20	±26%	20,0
Mercurio	PEE/CESTTA/34 EPA 3015A/EPA 245.1/EPA 7470A	mg/L	<0,001	±29%	0,005
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	<0,1	±28%	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	<4	±16%	50,0
*Organoclorados Totales	PEE/CESTTA/130 GC	mg/L	< 0,00012	---	0,05
*Organofosforados Totales	PEE/CESTTA/131 GC	mg/L	< 0,00046	---	0,1
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	7,19	±0,2	6-9
Sólidos Suspendedos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	130
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	140	±12%	1600
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO ₄ ²⁻ E	mg/L	<8	±25%	1000
Sulfuros	PEE/CESTTA/ 19 Standard Methods, Ed. 22. 2012 4500-S ²⁻ CyD	mg/L	0,03	±19%	0,5
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	<0,05	±24%	0,5
*Tetracloruro de carbono	Cromatografía de gases	mg/L	< 0,00001	---	1,0
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±8%	5,0
Arsénico	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±22%	0,1
Bario	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±15%	2,0

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 2 de 3
Edición 1

	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	--

Boro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	2,0
Cadmio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,004	±20%	0,02
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	5,0
Cobre	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±18%	1,0
*Cobalto	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	---	0,5
*Estaño	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	---	5,0
Hierro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	1,20	±16%	10,0
Manganeso	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±23%	2,0
Níquel	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±25%	2,0
Plata	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±17%	0,1
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	0,2
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	0,1
Temperatura	PEE/CESTTA/04 Standard Method No 2550 B	°C	16,9	±3%	Condición natural ±3

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración
- “Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE”.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial 097A. Anexo I. Libro VI. Solicitados a petición del cliente.
- Muestras Compuestas por 3 horas

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Anexo 6. Resultado de análisis de entrada de agua de consumos adicionales.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	---

INFORME DE ENSAYO No: AUN- 027-17
ST: 012 – 017 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: Industria cementera
Atn. Ing. María Salazar
Dirección: Km 7 1/2 vía a Selva Alegre sector Perugachi
 Otavalo-Imbabura

FECHA: 30 de Noviembre del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/11/09 – 08:30
FECHA DE MUESTREO: 2017/11/08– 15:00-18:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/11/09 - 2017/11/30
TIPO DE MUESTRA: Consumo
CÓDIGO CESTTA: LAB- AUN 27-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-1
PUNTO DE MUESTREO: Km7,5 Vía Selva Alegre. Entrada (Consumo Humano)
 17N 799548/26684
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ghinson Guevara
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Turbidez	PEE/CESTTA/43 EPA 180.1	UNT	<0,64	±24%	100,0
Color	PEE/CESTTA/61 Standard Methods Ed. 22.2012 2120 C	Pt/Co	<8	±25%	75
Aceites y Grasas	PEE/CESTTA/233 EPA 1664 Revision A, 1999	mg/L	<0.3	±34%	0,3
Hidrocarburos totales	PEE/CESTTA/07 TNRCC 1005	mg/L	< 0,20	±26%	0,2
Bario	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,07	±17%	1
Cadmio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,0008	±22%	0,02
Cobre	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,006	±20%	2
Arsénico	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±22%	0,1
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,005	±22%	0,01
Hierro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,16	±16%	1,0
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP – AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	0,01

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 2
 Edición 1

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	---	--

Mercurio	PEE/CESTTA/34 EPA 3015A/EPA 245.1/EPA 7470A	mg/L	<0,001	±29%	0,006
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500- SO ₄ ²⁻ E	mg/L	<8	±25%	500
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	<30	±14%	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	<2	±32%	<2
Nitritos	PEE/CESTTA/17 Standard Methods Ed. 2012 4500 -NO ₂ ⁻ B	mg/L	<0,03	±27%	0,2
Nitratos	PEE/CESTTA/16 Standard Methods No 4500 NO ₃	mg/L	<2,3	±29%	50,0
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	<1,1	±48%	1000
Cromo Hexavalente	PEE/CESTTA 32 Standard Methods No 3500 -Cr B	mg/L	<0,02	±22%	0,05
Cianuro Total	PEE/CESTTA/22 Standard Methods Ed. 22. 2012 4500-CN- C y E	mg/L	<0,017	±12%	0,1
Fluoruros	PEE/CESTTA/73 Standard Methods No. 4500 F- D	mg/L	<0,3	±20%	1,5

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla I: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico. Acuerdo Ministerial 097A. Anexo1. Libro VI. Solicitados a petición del cliente.
- Muestras Compuestas por 3 horas

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Anexo 7. Resultado de análisis de descarga de agua de marzo del 2017

 <p>CESTTA SGC</p>	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

INFORME DE ENSAYO No: AUN- 03-17
ST: 002- 17 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: Industria Cementera
Atn. Ing. Silvana Baez
Dirección: Km 7 ½ vía a Selva Alegre
Otavalo-Imbabura

FECHA: 14 de Marzo del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/02/07 – 07:30
2017/02/06 - 10:00
FECHA DE MUESTREO: 2017/02/07 - 2017/03/14
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA: Descarga
CÓDIGO CESTTA: LAB- AUN 03-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-3
PUNTO DE MUESTREO: Planta Industrial/ Descarga antes de su ingreso al cuerpo receptor
Rio Blanco 17N 799542/26683
Físico-Químico-Microbiológico
Junior Calderón

ANÁLISIS SOLICITADO: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potencial Hidrógeno (IN SITU)	PEE/CESTTA/164 Standard Method 4500- H ⁺ B	Unidades de pH	7,8	±0,15	6-9
*Materia Flotante	Visual	-	Ausencia	-	Ausencia
Temperatura	PEE/CESTTA/04 Standard Method No 2550 B	°C	15	±7%	Condicion natural ±3
Conductividad eléctrica (INSITU)	PEE/CESTTA/199 Standard Method No. 2510 B	µS/cm	320	±4%	-
Oxígeno disuelto (IN SITU)	PEE/CESTTA/206 Standard Methods No. 4500 – O G / EPA 360.1	mg/L	6,72	±17%	-
*Caudal	Volumétrico	L/s	25,1	-	-
Color	PEE/CESTTA/61 Standard Methods No. 2120 – C	Pt/Co	<8	±25%	Inapreciable en dilución: 1/20
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	30,0
Hidrocarburos totales	PEE/CESTTA/07 TNRCC 1005	mg/L	<0,20	±26%	20,0

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 7
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	130
Fosforo total	PEE/CESTTA/ 21 Standard Methods No. 4500-P B5	mg/L	<1,7	±23%	10,0
Bario	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±15%	2,0
Cadmio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,004	±20%	0,02
Cobre	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±18%	1,0
Arsénico	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±22%	0,1
Plata	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,01	±17%	0,1
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	0,2
Vanadio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	-
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	5,0
Hierro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	1,14	±16%	10,0
Manganeso	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±23%	2,0
Níquel	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±25%	2,0
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,77	±7%	5,0
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	0,1
Boro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	2,0
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	140	±12%	1600

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 2 de 7
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Cloro Libre Residual	PEE/CESTTA/12 Standard Methods No.4500-Cl G	mg/L	<0,1	±27%	-
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO ² 4 E	mg/L	<8	±25%	1000
*Sulfitos	PEE/CESTTA/25 Standard Methods No 4500- SO ₃ 2-B	mg/L	<8	-	-
Sulfuros	PEE/CESTTA/ 19 Standard Methods No 4500-S ² C y D	mg/L	0,02	±22%	0,5
Cloruros	PEE/CESTTA/15 Standard Methods No. APHA 4500-Cl ⁻ C	mg/L	20	±4%	1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3	±32%	100
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	<30	±14%	200
Nitritos	PEE/CESTTA/17 Standard Methods Ed. 2012 4500 -NO ₂ -B	mg/L	<0,03	±27%	-
Nitratos	PEE/CESTTA/16 Standard Methods No 4500 NO ₃	mg/L	<2,3	±29%	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	<4	±16%	50,0
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	<1,8	±48%	2000
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	<0,05	±24%	0,5
Cromo Hexavalente	PEE/CESTTA 32 Standard Methods No 3500 -Cr B	mg/L	<0,02	±22%	0,5
Cianuros	PEE/CESTTA/22 Standard Methods No 4500-CN ⁻ C y E	mg/L	<0,017	±28%	0,1
*Cloroformo	EPA 601 Modificado Purga y Trampa GC- MSD	µg/L	< 0,01	-	
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	0,18	±28%	30,0
*Tetracloruro de carbono	Cromatografía de gases	µg/L	< 0,01	-	1,0

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 3 de 7
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Fluoruros	PEE/CESTTA/73 Standard Methods No. 4500 F- D	mg/L	<0,3	±20%	5,0
**Sólidos sedimentables	SM 2540 F/ MM-AG- 08	mL/L	<2	±24%	-
**Fenoles	EPA 420.1 / MM-AG- 25	mg/L	< 0,001	±23%	0,2
**Cobalto	EPA 6020 B / MM- AG/S-39	mg/L	< 0,0001	±30%	0,5
**Estaño	EPA 6020 B / MM- AG/S-39	mg/L	< 0,0005	±30%	5,0
**Mercurio	EPA 6020 B / MM- AG/S-39	mg/L	<0,0001	±30%	0,005
**Sodio	EPA 6020 B / MM- AG/S-39	mg/L	12	±30%	-
PESTICIDAS ORGANOCORADOS					
**a-BHC	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
+a-Clordano	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Alaclor	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Aldrin	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**b-BHC	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
+Butaclor	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
+Chlortalonil	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
+Clortal-dimetil	EPA 8270 D / MM- AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-14

Página 4 de 7
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

**d-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Dieldrin	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Endosulfán I	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
**Endosulfán II	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Endosulfán Sulfato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Endrin	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Endrin Aldehido	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** g-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** g-Clordano	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Heptacloro	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Heptachloro-Epóxido	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Metolaclor	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Metoxicloro	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Oxifluorfen	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
+ pp'DDD	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** pp'-DDE	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 5 de 7
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

** pp'-DDT	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Quintoceno	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS					
⁺ Acefato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,001	±23%	0,2
** Cadusafos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Clorpirifós	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Diazinón	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,001	±22%	0,05
⁺ Diclorvos+ Triclorfon	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
⁺ Dimetoato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
**Disulfotón	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Etil Paratión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Etoprofos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
** Fenclorfos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Forato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
**Malatión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05
⁺ Metamidofos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,001	±22%	0,05
** Metil Paratión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 6 de 7
Edición 0

	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p align="center">Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p align="center">Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	--

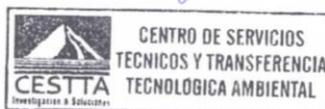
** Mevinfos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0005	±22%	0,05
** Terbufos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,0001	±22%	0,05

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los análisis marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación de SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos indicados en la Tabla 09: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. TULSMA. Acuerdo Ministerial 097-A. Anexo 1. Solicitados a petición del cliente.
- Los análisis marcados con (**) son subcontratados al laboratorio OAE LE 2C 05-008 que cuenta con acreditación en esos parámetros.
- Los análisis marcados con (†) se encuentran fuera del alcance de acreditación del laboratorio subcontratado OAE LE 2C 05-008.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-14

Página 7 de 7
Edición 0

Anexo 8. Resultado de análisis de descarga de agua de septiembre del 2017

	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No: AUN- 14-17
ST: 007- 17 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: Industria Cementera
Atn. Ing. Silvana Báez
Dirección: Km 7 1/2 vía a Selva Alegre sector Perugachi
 Otavalo-Imbabura

FECHA: 29 de Septiembre del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/08/16 – 07:30
FECHA DE MUESTREO: 2017/08/15 - 10:00-16:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/08/16 - 2017/09/29
TIPO DE MUESTRA: Residual
CÓDIGO CESTTA: LAB- AUN 14-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-4
PUNTO DE MUESTREO: Planta Industrial//Descarga antes de su ingreso al cuerpo receptor Rio Blanco 17N 799542/26683

ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Rubén Choto
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Potencial Hidrógeno (IN SITU)	PEE/CESTTA/164 Standard Method 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	7,65	±0,15	6-9
*Materia Flotante	Visual	-	Ausencia	-	Ausencia
Temperatura	PEE/CESTTA/04 Standard Method No 2550 B	°C	14,9	±7%	Condición natural ±3
Conductividad eléctrica (INSITU)	PEE/CESTTA/199 Standard Method No. 2510 B	µS/cm	409	±4%	-
Oxígeno disuelto (IN SITU)	PEE/CESTTA/206 Standard Methods No. 4500 – O G / EPA 360.1	mg/L	7,11	±17%	-
*Caudal	Volumétrico	L/s	32,6	-	-
Color	PEE/CESTTA/61 Standard Methods No. 2120 – C	Pt/Co	<8	±25%	Inapreciable en dilución 1/20
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	30,0
Hidrocarburos totales	PEE/CESTTA/07 TNRCC 1005	mg/L	0.21	±26%	20,0
Sólidos Suspendedos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	130

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 6
 Edición 1



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

**Acreditación N° OAE LE 2C 08-008
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Fosforo total	PEE/CESTTA/ 21 Standard Methods No. 4500-P B5	mg/L	<1,7	±23%	10,0
Bario	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±15%	2,0
Cadmio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,004	±20%	0,02
Cobre	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±18%	1,0
Arsénico	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±22%	0,1
Plata	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,01	±17%	0,1
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	0,2
Vanadio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	-
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	5,0
Hierro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	2,90	±16%	10,0
Manganeso	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±23%	2,0
Níquel	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±25%	2,0
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,5	±8%	5,0
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	0,1
Boro	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	2,0
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	148	±12%	1600
Cloro Libre Residual	PEE/CESTTA/12 Standard Methods No.4500-C1 G	mg/L	<0,1	±27%	-
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO ² 4 E	mg/L	<8	±25%	1000

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 2 de 6
Edición 1

 <p>CESTTA SGC</p>	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

*Sulfitos	PEE/CESTTA/25 Standard Methods No 4500- SO32-B	mg/L	<8	-	-
Sulfuros	PEE/CESTTA/ 19 Standard Methods No 4500-S ² -C y D	mg/L	0,03	±19%	0,5
Cloruros	PEE/CESTTA/15 Standard Methods No. APHA 4500-Cl ⁻ C	mg/L	24	±4%	1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	4	±32%	100
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	<30	±14%	200
Nitritos	PEE/CESTTA/17 Standard Methods Ed. 2012 4500 -NO ₂ -B	mg/L	<0,03	±27%	-
Nitratos	PEE/CESTTA/16 Standard Methods No 4500 NO ₃	mg/L	<2,3	±29%	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	<4	±16%	50,0
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	<1,8	±48%	2000
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	<0,05	±24%	0,5
Cromo Hexavalente	PEE/CESTTA 32 Standard Methods No 3500 -Cr B	mg/L	<0,02	±22%	0,5
Cianuros	PEE/CESTTA/22 Standard Methods No 4500-CN ⁻ C y E	mg/L	<0,017	±12%	0,1
*Cloroformo	EPA 601 Modificado Purga y Trampa GC- MSD	µg/L	< 0,01	-	0,1
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	<0,1	±28%	30,0
*Tetracloruro de carbono	Cromatografía de gases	µg/L	< 0,01	-	1,0
Fluoruros	PEE/CESTTA/73 Standard Methods No. 4500 F- D	mg/L	<0,3	±20%	5,0
**Mercurio	EPA 6020 B / MM- AG/S-39	mg/L	<0,0001	±30%	0,005
**Sólidos sedimentables	SM 2540 F/ MM-AG- 08	mg/L	<2	±24%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-14

Página 3 de 6
Edición 1

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	---	--

**Fenoles	EPA 420.1/MM-AG-25	mg/L	< 0,001	±23%	0,2
**Cobalto	EPA 6020 B / MM-AG/S-39	mg/L	<0,0001	±18%	0,5
**Estaño	EPA 6020 B / MM-AG/S-39	mg/L	<0,0005	±18%	5,0
**Sodio	EPA 6020 B / MM-AG/S-39	mg/L	16	±18%	-
PESTICIDAS ORGANOCORADOS					
**a-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
⁺ a-Clordano	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Alaclor	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Aldrin	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**b-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
⁺ Butaclor	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
⁺ Chlorotalonil	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
⁺ Clortal-dimetil	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
**d-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Dieldrin	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Endosulfán I	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
**Endosulfán II	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Endosulfán Sulfato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
**Endrin	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Endrin Aldehido	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

Página 4 de 6
 Edición 1

MC01 14

 <p>CESTTA SGC</p>	<p align="center">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p align="center">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

** g-BHC	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** g-Clordano	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Heptacloro	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Heptachloro-Epóxido	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Metolaclor	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Metoxicloro	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Oxifluorfen	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
+ pp`DDD	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** pp`-DDE	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	< 0,00005	±22%	0,05
** pp`-DDT	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
** Quintoceno	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,05
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS					
+ Acefato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
** Cadusafos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
** Clorpirifós	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
** Diazinón	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,001	±22%	0,1
+ Diclorvos+ Triclorfon	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
+ Dimetoato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0005	±22%	0,1
** Disulfotón	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 5 de 6
Edición 1

	<p style="text-align: center;">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p style="text-align: center;">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p style="text-align: center;">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p style="text-align: right;">Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p style="text-align: right;">Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	--	--

** Etil Paratión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
**Etoprofos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
** Fenclorfos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
**Forato	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
**Malatión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
*Metamidofos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,001	±22%	0,1
** Metil Paratión	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1
** Mevinfos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0005	±22%	0,1
** Terbufos	EPA 8270 D / MM-AG/S/VEG-27	mg/L	<0,0001	±22%	0,1

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración
- "Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE".
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. AM 097. Libro VI. Anexo I. Solicitados por el cliente.
- Muestra compuesta.
- Los análisis marcados con (+) se encuentran fuera del alcance de acreditación del laboratorio subcontratado OAE LE 2C 05-008.
- Los análisis marcados con (**) son subcontratados al laboratorio OAE LE 2C 05-008 que cuenta con acreditación en esos parámetros.

RESPONSABLES DEL INFORME:


**CENTRO DE SERVICIOS
TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

Anexo 9. Valores de evapotranspiración

	Temp media	i (índice calor mensual)
ENERO	14.7	5.12
FEBRERO	14.7	5.12
MARZO	14.8	5.17
ABRIL	14.8	5.17
MAYO	14.8	5.17
JUNIO	14.5	5.01
JULIO	14.3	4.91
AGOSTO	14.5	5.01
SEPTIEMBRE	14.7	5.12
OCTUBRE	14.8	5.17
NOVIEMBRE	14.7	5.12
DICIEMBRE	14.7	5.12

Suma I (índice calor anual)	61.20	
a (total)	1.46	
L (prom)	1.01	mm/mes

	Ept´	días	Horas de luz	Nd	N	L	Etp
SEPTIEMBRE	57.26	30	12.1	1.00	1.01	1.01	57.74
OCTUBRE	57.83	31	12.1	1.03	1.01	1.04	60.25
NOVIEMBRE	57.26	30	12.1	1.00	1.01	1.01	57.74
DICIEMBRE	57.26	31	12.1	1.03	1.01	1.04	59.66
ENERO	57.26	31	12.1	1.03	1.01	1.04	59.66
FEBRERO	57.26	28	12.1	0.93	1.01	0.94	53.89

Ept (promedio)	58.16	mm/mes
	0.06	l/mes
	0.00005816	m3/mes

Áreas verdes	80000	m2
--------------	-------	----

Ept (total)	4.65	m3/mes
Etp	0.16	m3/dia

Kc (coeficiente medio de cultivo)	0.90
-----------------------------------	------

FECHA	PRODUCCIÓN DE CEMENTO (Tn/m3)	EVAPORACIÓN (m3/MES)	COEFICIENTE MEDIO DE CULTIVO (Kc)	EVAPOTRANSPIRACIÓN (m3/MES)	HUELLA HÍDRICA VERDE (m3/Tn)
SEP 2017	108221.00	4.65	0.90	4.19	3.87E-05
OCT 2017	110738.00	4.81	0.90	4.33	3.91E-05
NOV 2017	106558.00	4.65	0.90	4.19	3.93E-05
DIC 2017	108366.00	4.81	0.90	4.33	3.99E-05
ENE 2018	72240.00	4.81	0.90	4.33	5.99E-05
FEB 2018	95754.00	4.34	0.90	3.91	4.08E-05

Anexo 10. Mapa de ubicación de los sensores capacitivos “Water Level Logger”

MAPA DE UBICACIÓN DE LOS SENSORES CAPACITIVOS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

