

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

1. **TÍTULO:** Evaluación de la huella hídrica en la industria cementera, provincia de Imbabura

2. **AUTORES:** Jorge Luis Natuta Yépez
Yesenia Irene Potosí Potosí

3. **DIRECTOR:** MSc. Renato Oquendo

4. **COMITÉ LECTOR:** MSc. Mónica León
PhD. Juan Carlos García
PhD. José Alí Moncada

5. **AÑO:** 2018

6. **LUGAR DE INVESTIGACIÓN:** Industria cementera de la provincia de Imbabura-Otavalo

7. **BENEFICIARIOS:** La industria cementera de la provincia de Imbabura



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”

AUTORES

JORGE LUIS NATUTA YÉPEZ
YESENIA IRENE POTOSÍ POTOSÍ

DIRECTOR

MSc. Renato Oquendo

ASESORES

MSc. Mónica León
PhD. Juan Carlos García
PhD. José Alí Moncada

**Ibarra – Ecuador
2018**

Lugar de investigación: Industria cementera de la provincia de Imbabura- Otavalo

HOJA DE VIDA



APELLIDOS: NATUTA YÉPEZ

NOMBRES: JORGE LUIS

C. CIUDADANÍA: 100362394 - 7

TELÉFONO CELULAR: 0985481775

CORREO ELECTRÓNICO: jnatuta@gmail.com

DIRECCIÓN: Santo Domingo – San Antonio - Ibarra

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 10 de septiembre del 2018

HOJA DE VIDA



APELLIDOS: POTOSÍ POTOSÍ

NOMBRES: YESENIA IRENE

C. CIUDADANÍA: 100281032 - 1

TELÉFONO CELULAR: 0980611201

CORREO ELECTRÓNICO: yeseniapotosi2@gmail.com

DIRECCIÓN: Pucahuayco – San Antonio - Ibarra

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 10 de septiembre de 2018

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA – UTN

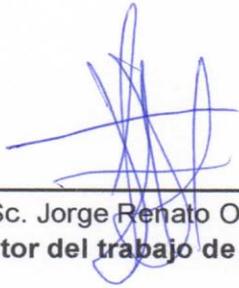
Fecha: 5 de septiembre del 2018

Natuta Yépez Jorge Luis & Potosí Potosí Yesenia Irene: **EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, PROVINCIA DE IMBABURA** / Trabajo de Titulación, Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra, 05 de septiembre del 2018. 116 páginas.

DIRECTOR: MSc. Jorge Renato Oquendo

El objetivo principal de esta investigación fue: Evaluar la huella hídrica en las actividades desarrolladas en la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Caracterizar las actividades desarrolladas en la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura, Evaluar la calidad y cantidad de agua requerida para la producción de cemento y consumos adicionales, Estimar la huella hídrica en la industria de producción de cemento en la provincia de Imbabura.

Fecha: 05 de septiembre del 2018



MSc. Jorge Renato Oquendo
Director del trabajo de titulación

AUTORES



Jorge Luis Natuta Yépez



Yesenia Irene Potosí Potosí

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

Natuta Jorge Luis*¹, Potosí Yesenia Irene *¹, Oquendo Renato¹

¹Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova,

Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

*Autor correspondiente: e-mail: jnatuta@gmail.com,yeseniapotosi2@gmail.com

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 $0.89 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cemento}}$, siendo la huella azul la más relevante, mientras que los valores de huella verde y gris fueron despreciables. Cabe mencionar que la huella hídrica de la industria cementera de Imbabura está por debajo de los valores obtenidos en otras industrias de países vecinos.

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

SUMMARY

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 $0.89 \text{ m}^3/\text{Tn}_{\text{cement}}$, in which the blue footprint being the most significant, while the green and gray footprint values were insignificant. It is worth mentioning that the water footprint of cement industry in Imbabura is below the values found in other industries in neighboring countries.

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

INTRODUCCIÓN

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).

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).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está localizada en Ecuador en la Provincia de Imbabura, en el Cantón Otavalo, Parroquia de la parroquia San José de Quichinche, comunidad El Corazón de Perugachi, en el kilómetro 7 ½ de la vía Selva Alegre, En cuanto a sus características geográficas y climáticas, posee zonas de vida correspondientes 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.

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 9,85 km y el río 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).

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 2015. 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.

Fase 1: Caracterización de las actividades desarrolladas en la industria cementera

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 mediante una entrevista denominada de correspondencia y otra de análisis, donde se estudió con detenimiento cada entrevista y se recopiló toda la información para los análisis (Robles, 2011).

Se identificó tres etapas importantes que consumen el agua, dos de ellas de manera directa (proceso de producción y autogeneración de energía eléctrica) y de manera indirecta (consumos adicionales).

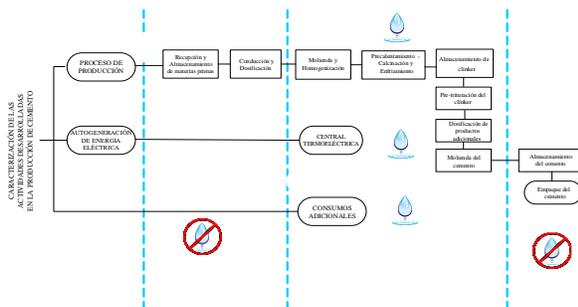


Figura 1. Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en la industria de elaboración de cemento

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

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. 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 2).

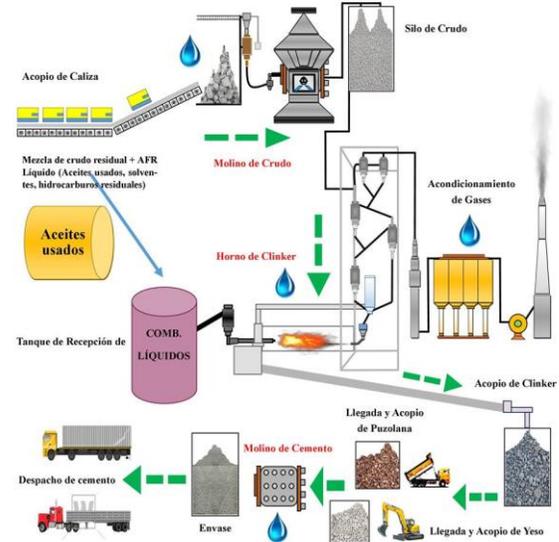


Figura 2. Flujograma de procesos para la producción de cemento

Además, 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.

Para consumos adicionales, 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.

Es importante mencionar la piscina de recirculación, que 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.

Fase 2: Evaluación del agua requerida

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, no se realizó el análisis de calidad de agua de recirculación, ya que es tomada directamente de la piscina de enfriamiento. 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, la planta de tratamiento cumple con la normativa ambiental del Ecuador, así lo demuestra los análisis de agua que se ejecutaron durante el periodo de esta investigación.

Las muestras de agua obtenidas fueron sometidas a análisis físico, químico y microbiológico en un laboratorio acreditado. 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 (CESSTA), 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.

Los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permisibles determinados por la norma ecuatoriana ambiental tanto para proceso industrial como para consumos adicionales (Tabla 1).

Tabla 1
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

Para medir la cantidad de agua, se instaló sensores capacitivos "Water level logger" 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 3).

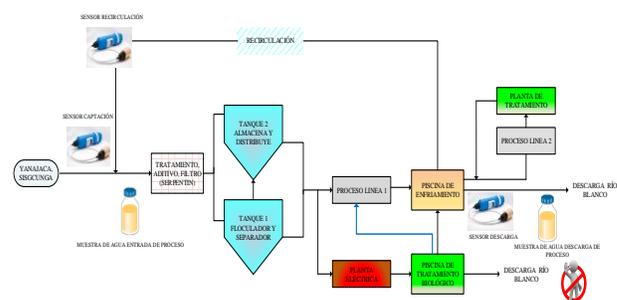


Figura 3. Diagrama de flujo de la ubicación de puntos de muestreo para la evaluación del agua de proceso industria

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 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.

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, y usando las fórmulas de vertedero de triangular para los registros de captación y recirculación, y vertedero rectangular para descarga.

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 (Figura 4).

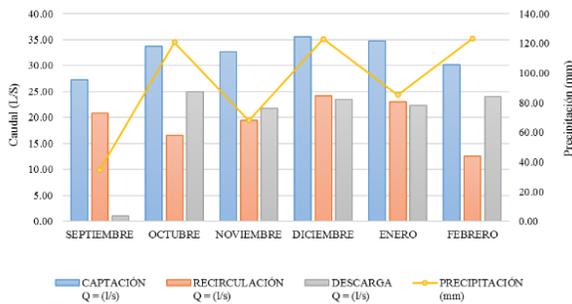


Figura 4. Caudal medio mensual $Q=$ (l/s)

Analizando los resultados mostrados en la Tabla 2, 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 2
Agua captada, consumida en la producción y descarga

	Captación Total		Descarga		Agua consumida	
	[l/s]	[100%]	[l/s]	[%]	[l/s]	[%]
Sept	48.02		1.05	2.19	46.97	97.81
Oct	50.27		24.98	49.69	25.29	50.31
Nov	52.21		21.72	41.60	30.49	58.40
Dic	59.72		23.50	39.35	36.22	60.65
Ene	57.77		22.37	38.72	35.40	61.28
Feb	42.70		24.03	56.28	18.67	43.72

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. 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.

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 3). 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 3
Dotación de agua consumida por m^3 /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	102.7	83.52	19.2

Fase 3: Estimación de la huella hídrica y optimización

Para la estimación de la huella hídrica se realiza en base a sus tres componentes, huella azul, verde y gris.

Para determinar la huella hídrica azul se determinó mediante Hoekstra, et al. (2011), siendo 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 de cemento, 1.15 m³/Tn para el mes de septiembre que corresponde a la época seca y 0.83 m³/Tn como valor medio de la época lluviosa (octubre a febrero).

La huella verde se realizó en base a la ecuación de Twornthwaite y la relación a la evapotranspiración de las plantas, en este caso pasto por ocupar mayor cobertura vegetal en el área de estudio, una vez realizado los cálculos el resultado se desprecia por ser un valor no relevante.

La huella hídrica gris del proceso de producción se determinó 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. 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.

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 ($WF_{proc,blue}$), huella verde ($WF_{proc,green}$) y huella gris ($WF_{proc,gray}$)

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

La estimación de la huella hídrica en la industria cementera de la provincia de Imbabura es de 0.89 m³/Tn_{cemento}, recalcando 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.

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.

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.

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.

BIBLIOGRAFÍA

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.

Gait, N., & Pierotto, M. (2010). *Contaminación y contaminantes del agua. Salud Ambiental Infantil: manual para enseñanza de grado en escuelas de medicina*. 1^a 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.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Quichinche. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San José de Quichinche (Actualización 2015-2019)*. Otavalo: Autor.

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].

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., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual; Setting the Global Standard*. London: Earthscan.

Industria cementera de la provincia de Imbabura. *Auditoría ambiental de cumplimiento (2014 – 2016)*. Otavalo: Autor.

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
Unidad [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.