



**ANALISIS DE HUELLA HIDRICA EN
LA CENTRAL TERMoeLECTRICA "AGUAYTIA"
ACORDE A LA NORMA ISO 14046**

Documento elaborado para:



Un proyecto de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**



Ejecutada por:



Con el apoyo científico y revisión de:



Octubre 2015

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Este reporte es un producto del Proyecto SuizAgua Andina Perú.

SuizAgua Andina Perú se constituye en una alianza público privada entre el gobierno Suizo, a través de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y 5 empresas líderes en Perú con el objetivo de medir y reducir su huella hídrica, ejecutar planes de responsabilidad social y ambiental enfocados en el tema del agua y diseminar nuevos conocimientos y demás desarrollos del proyecto. Este reporte ha sido preparado por la ONG Agualimpia, organismo ejecutor del proyecto por encargo de COSUDE, con asesoría y apoyo científico de Quantis.

Este y más productos de conocimiento desarrollados como parte del proyecto SuizAgua Andina son accesibles en www.suizagua.org. Por favor dirigir todas las consultas sobre este reporte a las oficinas de Duke Energy Perú y/o Agualimpia - equipo SuizAgua Andina Perú.

Raúl Espinoza

Gerente General Duke Energy Perú S. en C. por A.

E-mail: raul.espinoza@duke-energy.com

Teléfono: 6154600

Mercedes Castro

Gerente General ONG Agualimpia

E-mail: mcastro@agualimpia.org

Teléfono: 999549413

Alejandro Conza, Jefe del Proyecto SuizAgua Andina Perú



E-mail: aconza@agualimpia.org

Teléfono: 999549411

Rony Laura, Asistente de Ingeniería del Proyecto SuizAgua Andina Perú

E-mail: rlaura@agualimpia.org

Teléfono: 2223605

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

Información de Proyecto

Título	SuizAgua Andina Perú Sector Privado
Título de reporte	Análisis de Huella Hídrica en la Central Termoeléctrica “Aguaytía” acorde a la norma ISO 14046
Empresa Socia de SuizAgua Andina Perú	Duke Energy Egenor S.en C.por A. (en adelante "Duke Energy Perú")
Declaración de Responsabilidad	La información contenida en este reporte ha sido compilada y/o calculada de fuentes que se consideran creíbles. La aplicación de los datos es estrictamente bajo el criterio y la responsabilidad del lector. Agualimpia y COSUDE no son los responsables de ningún daño causado por el uso de la información contenida en este documento.
Equipo del Proyecto SuizAgua Andina Perú	<ul style="list-style-type: none"> - Alejandro Conza, Jefe del Proyecto SuizAgua Andina Perú (aconza@agualimpia.org) - Blanca Alfaro, Asistente de Ingeniería (balfaro@agualimpia.org) - Rony Laura, Asistente de Ingeniería (rlaura@agualimpia.org) - Claudia Pereyra, consultora de Responsabilidad Social en Agua (claudiapereyra@rse.com.pe)
Revisor del Reporte según ISO 14046 numeral 7.3	<ul style="list-style-type: none"> - Xavier Bengoa, consultor ACV de Quantis (xavier.bengoa@quantis-intl.com)
Representante Duke Energy empresa socia de SuizAgua Andina Perú	<ul style="list-style-type: none"> - Raúl Espinoza, Gerente General de Duke Energy Perú (raul.espinoza@duke-energy.com)
Equipo Asesor en ISO 14046 Quantis	<ul style="list-style-type: none"> - Simon Gmuender, consultor ACV (simon.gmuender@quantis-intl.com) - Samuel Vionnet, consultor ACV (Samuel.vionnet@quantis-intl.com)
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación	<ul style="list-style-type: none"> - Jean Gabriel Duss, Director de Cooperación – Programas Globales en la región Andina (jean-gabriel.duss@eda.admin.ch) - Carla Toranzo, Oficina del Programa Global Agua en la Región Andina (carla.toranza@eda.admin.ch)







	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	7
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS	13
DEFINICIONES	14
1. INTRODUCCION	17
1.1. Descripción del análisis de Ciclo de Vida y Huella Hídrica	18
1.2. Contexto y antecedentes	18
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	19
2.1. Objetivos y aplicación prevista.....	19
2.2. Descripción general	20
2.3. Sistema de estudio y unidad funcional	20
2.4. Límites del sistema	21
2.5. Reglas de asignación.....	23
2.6. Datos de inventario, fuentes e hipótesis.....	23
2.7. Principales datos y supuestos	24
2.7.1. Usos directos	25
Entradas y Usos de Agua.....	25
Salidas de Agua	26
Agua consumida.....	26
2.7.2. Usos indirectos: cadena de suministros.....	28
2.7.3. Usos indirectos – Energía y Transporte.....	29
2.8. Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico	31
2.9. Análisis de calidad de datos	32
2.10. Análisis de sensibilidad.....	35
2.11. Revisión crítica interna	35
3. RESULTADOS.....	36
3.1. Balance Hídrico directo.....	36
3.2. Agua Consumida.....	37
3.3. Indicadores de Impacto.....	40

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

3.3.1. Índice de Impacto Hídrico (WIIX).....	40
3.3.2. Impactos potenciales en la salud humana y ecosistemas	42
4. DISCUSION	44
4.1. Agua Consumida.....	45
4.2. Índice de impacto hídrico, WIIX	45
4.3. Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas.....	46
4.3.1. Impactos potenciales en salud humana	46
4.3.2. Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas	46
4.4. Análisis de sensibilidad	48
5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	49
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52



	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TERMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Generales de la Central Termoeléctrica Aguaytía	21
Tabla 2. Consideraciones y criterios de generales de cálculo	25
Tabla 3. Agua extraída de pozo para sistema contra incendios.....	26
Tabla 4. Agua extraída de pozo para uso doméstico	27
Tabla 5. Agua extraída de pozo para enfriadores	27
Tabla 6. Efluente de Agua en PTAR	27
Tabla 7. Agua evaporada	27
Tabla 8. Agua para riego.....	28
Tabla 9. Consumos de gas natural	29
Tabla 10. Tipo de generación de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional de Perú.....	29
Tabla 11. Consumo de electricidad	30
Tabla 12. Consumo de Diesel	30
Tabla 13. Consumo de combustibles para transporte de personal	30
Tabla 14. Consumo de Gas en pre calentador	31
Tabla 15. Análisis de calidad de datos	34
Tabla 16. Puntos críticos de análisis de huella hídrica CTA (2013)	44
Tabla 17. Análisis de Sensibilidad	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de producción.....	22
Figura 2. Clasificación de los indicadores de impacto de punto final (Quantis).....	32
Figura 3. Balance Hídrico Directo de la Central Termoeléctrica Aguaytía CTA (2013)	36
Figura 4. Balance Hídrico Directo de la CTA por kWh, en litros (2013).....	37
Figura 5. Agua Consumida por Unidad Funcional (2013)	38
Figura 6. Detalle de Consumo de Agua por uso directo, por kWh (2013)	39
Figura 7. Detalle de Consumo de Agua por uso indirecto en cadena de suministro, por Unidad Funcional (2013).....	39
Figura 8. Detalle de Consumo de Agua por uso indirecto en energía y transporte, por Unidad Funcional (2013).....	40
Figura 9. Cálculo de Índice de Impacto Hídrico WIIX, Directo e indirecto (2013)	41
Figura 10. Impactos Potenciales en salud humana producidos en CTA.....	42
Figura 11. Impacto Potencial en la calidad de los ecosistemas producido por la CTA.....	43

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

RESUMEN EJECUTIVO

SuizAgua Andina (SA) es un proyecto de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), mediante el cual Suiza aspira a contribuir con Chile y Perú en la mejor gestión de los recursos hídricos, uno de los desafíos más apremiante para el desarrollo regional. El proyecto inicio en diciembre del 2012 y tiene una duración de 3 años.

SA tiene el objetivo principal de influenciar el dialogo político en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para asegurar un uso más sostenible del agua y evitar conflictos, el proyecto está basado en el concepto de huella hídrica. En Perú, SA tiene una línea específica de trabajo con el sector privado, con el objetivo de que las compañías clave adopten el concepto de huella hídrica para contribuir a la asignación más equitativa de los recursos hídricos disponibles y que el concepto y herramientas relacionadas a la huella hídrica, sean desarrolladas y diseminadas en la región Andina por actores empresariales clave con influencia en la región, de modo que puedan servir de modelo y así facilitar su escalamiento para lograr un mayor impacto en beneficio de las personas.



La metodología empleada para la medición de la huella hídrica, es acorde la norma ISO 14046:2014 de huella hídrica cuyo desarrollo fue apoyado por QUANTIS¹, e involucra la contabilidad del agua en los procesos productivos (análisis del inventario de huella hídrica), la evaluación de potenciales impactos causados por la huella hídrica y la interpretación de los resultados. Su enfoque metodológico se basa en el análisis de ciclo de vida (ACV) aplicado al uso del agua, calculando su consumo y contaminación en la cadena de valor de un producto o servicio, proceso u organización, además de los impactos potenciales en la salud humana y la calidad de los ecosistemas.

Duke Energy Corporation mantiene sus inversiones en el Perú a través de las siguientes empresas: Duke Energy Egenor S. en C. por A. (en adelante "Duke Energy Perú"), Termoselva S.R.L. (en adelante "Termoselva"), Aguaytía Energy del Perú S.R.L. (en adelante "Aguaytía Energy"), Eteselva S.R.L. y Etenorte S.R.L.

Duke Energy Corporation es una de las empresas de energía más grandes del mundo (www.duke-energy.com). La compañía administra una red integrada de activos, experiencia y capacidad técnica en los sectores de generación, comercialización y distribución de energía.

Duke Energy Perú considera importante saber cuál es el consumo de agua y los impactos hídricos que genera la producción de energía eléctrica en las operaciones de las instalaciones de la Central Termoeléctrica de Aguaytía (Ucayali – Pucallpa). A partir de estos resultados, Duke Energy Perú i)

¹ A través de la participación de Sebastien Humbert en el comité de desarrollo de la norma. Sebastien Humbert es Director Científico de Quantis Internacional.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

implementará acciones dentro de la empresa (en adelante, la "CTA"), de titularidad de la empresa Termoselva S.R.L. (en adelante, "Termoselva") y con sus proveedores para reducir su huella hídrica y ii) desarrollará proyectos de responsabilidad social corporativa en agua para compensar y mitigar sus impactos hídricos en las cuencas identificadas, beneficiando a la población de sus zonas de influencia.

En el presente informe se indican las principales consideraciones y estimaciones usadas para evaluar la Huella Hídrica de la producción de 1 kWh de energía eléctrica, a partir de energía calorífica generada por la combustión de gas natural (en ciclo simple) en la Central Termoeléctrica de Aguaytía CTA (Pucallpa – Ucayali). La CTA se ubica dentro de la cuenca Aguaytía, la cual tiene un bajo índice de stress hídrico (0.0104). Su principal fuente de agua es subterránea. La descarga de aguas residuales, luego de tratadas, se hace a un cuerpo de agua superficial que desemboca en el río Aguaytía. El principal insumo de producción es el gas natural, producido a 150 km de distancia y abastecido por un proveedor mediante gasoducto. El informe abarca el periodo de 12 meses, comprendido entre Enero y Diciembre de 2013.

Objetivo y Alcance



Duke Energy Perú definió como objetivo principal de este estudio analizar la huella hídrica del 1 kilowatt-hora generado a base de gas natural y en ciclo simple en la operación que realiza de las instalaciones de la CTA, de titularidad de Termoselva, ubicada en el distrito de Padre Abad, Provincia de Pucallpa, Región Ucayali. Toma como base el año 2013, año en que produjo 391,343,750 kWh.

A partir de los resultados de este estudio y en el marco del proyecto SuizAgua Andina Perú, Duke Energy Perú se propone i) implementar acciones dentro de la empresa y con sus proveedores para reducir su huella hídrica y ii) desarrollar proyectos de responsabilidad social corporativa en agua para compensar y mitigar sus impactos hídricos en las cuencas identificadas.



Productos y definición del sistema

El estudio considera el análisis de la huella hídrica en el periodo de tiempo enero - diciembre de 2013. Para fines del estudio, se han considerado todas las áreas dentro de la CTA: unidad de producción, administración y campamentos. La producción de energía eléctrica tiene como componentes básicos los siguientes:

- Patio de gas
- Turbina
- Generador

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
		2013	kWh de energía eléctrica	001

Para el análisis de huella hídrica se ha desarrollado la metodología propuesta en la norma ISO 14046; el sistema definido considera la evaluación desde el origen de la materia prima hasta el punto de entrega de la energía al sistema interconectado nacional (“de la cuna a la puerta”).



	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Resultados generales

- Agua Consumida.** Según el análisis de huella hídrica efectuado, 1 kWh producido durante el 2013 en la CTA ha consumido 0.16 litros de agua. El 86.4% del agua consumida proviene del uso indirecto en la cadena de suministro, representado principalmente por el uso del gas natural (producción, transporte y emisiones).
- Impacto Hídrico.** Este indicador relaciona la cantidad de agua consumida con el impacto por su degradación y por el stress hídrico en la zona de extracción. Según la evaluación de huella hídrica efectuada, 1 kWh producido durante el 2013 en la CTA tiene un WIIX de 1.8×10^{-6} m³eqWIIX/kWh. El 65% del WIIX corresponde al impacto producido por la cadena de suministros, representado principalmente por el gas natural. El 21% del WIIX está asociado al uso directo de agua; el uso directo de agua adquiere mayor importancia en el WIIX debido a que el stress hídrico de la zona de producción del gas natural es bajo (0.0104) y por lo tanto su impacto disminuye. Ello hace que el impacto por polución sea más representativo y entonces las características del agua residual doméstica tratada de la CTA muestran mayor impacto, aun cuando siempre cumplen la normativa nacional. El WIIX asociado al consumo indirecto de energía alcanza el 14%.
- Impacto en la Salud Humana.** Según el análisis de huella hídrica efectuado, 1 kWh producido durante el 2013 en la CTA tiene un impacto en la salud humana de 5.8×10^{-8} DALY/kWh. Casi la totalidad del impacto (99.99%) se relaciona a potenciales impactos en salud humana por polución. En términos de origen, la mayor incidencia corresponde al gas natural (99.7%).
- Impacto en el Ecosistema.** Según el análisis de huella hídrica efectuado, 1 kWh producido durante el 2013 en la CTA, tiene un impacto en el Ecosistema de 3.1×10^{-4} PDF-m2-año/kWh. El 92.0% de todo el impacto en ecosistemas se atribuye a perturbaciones físicas o químicas, principalmente afectación por eutrofización (64%). El 64.5% del impacto total en el ecosistema se produce en la cadena de suministros (gas natural) y el 32.7% del impacto en ecosistemas es producido por el consumo directo de agua en la CTA. Nuevamente, el bajo stress hídrico resalta el impacto potencial por perturbaciones físico-químicas.

Análisis de Sensibilidad

Al ser el gas natural el insumo de mayor impacto en la evaluación de huella hídrica, se desarrolló un análisis de sensibilidad considerando dos escenarios: en el primero, se sustituye el gas natural por un proceso que incluye la combustión del gas natural en un motor de gas en una planta de

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

ciclo combinado, para generación de energía de reserva. En el segundo escenario, se sustituye el gas natural por un proceso de combustión de gas para cogeneración de energía y calor.

Los resultados obtenidos ratifican la importancia general del gas natural como el mayor aportante al análisis de huella hídrica. En los diferentes escenarios, la importancia del gas por sobre los consumos directos e indirectos oscila entre el 86% y 90% al analizar agua consumida, entre el 61% y 76% al analizar impacto hídrico WIIX y entre el 60% y 79% al analizar impacto en ecosistemas. En el análisis de impacto en salud humana, no se registra variación significativa.

Limitaciones

De la literatura revisada, se ha identificado que los consumos e impactos más importantes se encuentran en la fase de producción/generación de energía eléctrica, por lo que se han desestimado las fases posteriores a la generación. Es decir, la fase de transformación de voltaje de energía, la conducción y distribución no son procesos que aporten a la huella hídrica de la energía termoeléctrica. Tampoco se ha considerado el consumo e impactos generados por la infraestructura, pues de la literatura revisada su aporte no es significativo. (MEKONNEN, Mesfin y otros, 2015, The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment)



En el análisis de los consumos indirectos, el grado de incertidumbre de los procesos seleccionados es medio, debido a que los procesos de producción usados como referencia (Dataset de Ecoinvent/Quantis) no son particulares de Perú. Se han utilizado factores de regionalización para adaptarlos.

La precisión de los datos de referencia es buena en todos los casos, con excepción de los consumos directos, donde la información fue inferida a partir de la capacidad de producción de los pozos de agua, los sistemas de bombeo y sus horas de funcionamiento.



Al existir un sistema de enfriamiento de ciclo cerrado, los consumos de agua son reposiciones de agua por pérdida o evaporación; por ello, no se consideran impactos térmicos por vertimientos.

Conclusiones y recomendaciones

- Se ha identificado al gas natural (producción, transporte y emisiones) como el principal factor de impacto en el estudio de análisis de huella hídrica de la CTA. Por ello, cualquier iniciativa para incrementar la eficiencia de la producción de energía eléctrica impactará significativamente en la reducción de la huella hídrica. Ello incluye desde mejoras en el proceso de combustión hasta la implementación de un proceso de ciclo combinado o de cogeneración.
- Respecto al gas natural, al ser un insumo cuya producción y transporte está también a cargo de Duke Energy Corporation a través de otra unidad de producción, es muy viable identificar y desarrollar acciones de reducción de los consumos e impactos de huella hídrica en producción del gas natural.



	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

- La CTA está ubicada en una cuenca amazónica, con un índice de stress hídrico cercano a 0, es decir, sin condición de stress. Así mismo, el proceso de generación de energía eléctrica en CTA a partir de la combustión del gas natural es un proceso que no consume agua de forma directa en cantidades importantes. Por ello, el mayor énfasis para reducir los impactos por uso directo de agua deben direccionarse a la mejora de la calidad del agua residual vertida, que es proveniente del uso doméstico. Si bien la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas existente cumple con la calidad de agua requerida en la normativa nacional para vertimientos, es posible reducir el impacto por polución mejorando los parámetros de salida más allá de la referencia de la norma ambiental nacional.
- Se ha identificado una oportunidad de reducción de usos directos de agua en lo productivo. El sistema cerrado de enfriamiento tiene pérdidas evaporativas que pueden eliminarse si se controlan las máximas temperaturas de funcionamiento de las turbinas de gas. Estos impactos serán menores en la huella hídrica pero podrían implementarse en el corto plazo. Implementar un sistema de control de usos de agua (caudalímetros) en aquellas áreas donde la información de usos ha sido estimada solo como referencial.
- Fomentar y desarrollar proyectos de mejora continua PMC relacionados a agua, evaluar la posibilidad de reusar las aguas de purga de los procesos de osmosis y desmineralización en usos no primarios como lago, jardines y baños.
- Evaluar la posibilidad de utilizar agua de lluvia para el sistema contra incendios y/o para usos domésticos de aguas grises.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
BCR	British Retail Consortium
BSCI	Business Social Compliance Initiative
COSUDE	Agencia Suiza para la Cooperación y Desarrollo
CTA	Central Termoeléctrica Aguaytía
DALY	Disability Adjusted Life years
GLO	Global
GRI	Global Reporting Initiative
HACCP	Hazard analysis and critical control points
IFS	International Food Standard
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
ISO	International Organization for Standardization
kWh	kilovatio-hora
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LDPE	Low-density polyethylene
MINAM	Ministerio del Ambiente
ONG	Organización no Gubernamental
PDF	Potentially Disappeared Fraction of species per m2 per year
PE	Perú
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RIL	Residuos industriales líquidos
SA	Suizagua Andina
SETAC	Society of environmental Toxicology and Chemistry
UF	Unidad Funcional
UNEP	The United Nations Environment Programme
WIIX	Water Impact Index
WSI	Water Stress Index

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

DEFINICIONES

*Las definiciones se basan en las normas ISO 14040/14044/14046.

Agua dulce (fresca): agua con una baja concentración de sólidos disueltos.

Agua subterránea: Agua retenida y que puede ser recuperada de una formación subterránea.

Agua superficial: Agua en flujo superficial y almacenada, como ríos y lagos, excluyendo el agua salada.

Análisis de Ciclo de Vida: recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales de un sistema productivo a lo largo de su ciclo de vida.

Análisis de inventario de Ciclo de Vida: Fase de la evaluación del ciclo de vida, incluye la recopilación y cuantificación de entradas y salidas para un producto durante su ciclo de vida.

Análisis de inventario de Huella Hídrica: Fase de la evaluación de huella hídrica que incorpora la recopilación y cuantificación de entradas y salidas relacionadas con el agua para productos, procesos u organizaciones.



Análisis de Huella Hídrica: Recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los potenciales impactos ambientales relacionados al agua usada o afectada por un producto, proceso u organización.

Análisis Integral de Huella Hídrica: Análisis de la huella hídrica que considera todos los atributos ambientales relevantes o aspectos del ambiente natural, la salud humana y los recursos relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad y la degradación de la calidad del agua.

Análisis de los impactos de Huella Hídrica: Fase de la evaluación de huella hídrica, posterior al análisis de inventario de huella hídrica, ayuda a entender y evaluar la magnitud y el significado de los impactos potenciales ambientales relacionados al agua de un producto, proceso u organización.

Calidad del agua: Características físicas, químicas y biológicas del agua con respecto a su idoneidad para un uso previsto por los seres humanos o ecosistemas.

Categoría de impacto: clasificación que representa aspectos ambientales de interés para asignar los resultados del análisis del inventario de ciclo de vida.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

Categoría de punto medio: Variable intermedia que evalúa el riesgo asociado a las extracciones (entradas) y emisiones (salidas) relacionadas con una categoría de salida.

Categoría de punto final: atributo o aspecto del medio ambiente, la salud humana o los recursos, que identifica un problema ambiental de interés.

Ciclo de vida: etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales hasta la disposición final del producto.

Consumo de agua: extracción de agua en donde no hay devolución a la cuenca de origen, debido a que el agua es evaporada, evapotranspirada, incorporada a un producto, trasvasada de cuenca o vertida al mar.

Co-producto: Cualquiera de los productos procedentes del mismo proceso unitario o sistema de producto

Degradación de agua: cambio negativo en la calidad del agua.

Disponibilidad de agua: Grado en que los seres humanos y los ecosistemas tienen suficientes recursos para sus necesidades.

Escasez de agua: Medida en que la demanda de agua se compara con la reposición de agua en un área, por ejemplo, drenaje de una cuenca, sin considerar la calidad de agua.



Extracción de agua: Remoción antropogénica de cualquier cuerpo de agua, ya sea de manera temporal o permanente.

Huella hídrica: métricas que cuantifican los potenciales impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico.

Indicador de categoría de impacto: representación cuantificable de una categoría de impacto.

Inventario de Huella Hídrica: Resultado del análisis de inventario de Huella Hídrica, incluye los flujos principales que son utilizados posteriormente para la evaluación de huella hídrica

Límites del sistema: conjunto de criterios que especifican qué unidades del proceso forman parte del sistema de producción o de las actividades de una organización.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
		2013	kWh de energía eléctrica	001

Organización: Persona o grupo de personas que tienen sus propias funciones con responsabilidades, autoridades y relaciones para lograr sus objetivos.



Perfil de huella hídrica: Compilación de resultados de los indicadores de categoría de impacto que abordan los posibles impactos ambientales relacionados con el agua.

Producto: Bien o servicio.

Proceso: Conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan que transforman entradas en salidas.

Unidad funcional: desempeño cuantificado de un sistema productivo para ser usado como unidad de referencia.

Uso de agua: uso de agua por actividades humanas.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

1. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos más importantes que definen los límites para lograr un desarrollo sustentable. No obstante, sus usos son a nivel global cada vez más intensivos y, en efecto, se prevé que la demanda mundial aumente en un 55% para el 2050 (United Nations World Water Development Report, 2014). Este incremento se explica por el aumento de la población y por una demanda per cápita más alta en bienes y servicios y por lo tanto en los requerimientos de agua, materias primas y energía para producirlos. Lo anterior, sumado al hecho que tan solo un 0.3% del agua dulce del planeta es de fácil acceso (Shiklomanov, 1993), y que además no está distribuida de manera homogénea, ha concluido en una situación compleja de disponibilidad y calidad del recurso.



El gran avance económico que ha tenido el Perú en los últimos 10 años, ha hecho que las diferentes industrias crezcan en su producción y por lo tanto, aumente el consumo de energía, combustibles y también de agua. El agua es elemental para la vida humana y no existe otro recurso que la pueda sustituir. Se requiere agua para la producción de alimentos, la generación de energía, el transporte a gran escala, es decir, está presente directa o indirectamente en toda actividad económica que se pueda desarrollar. Por ello, la gestión del agua es de trascendental importancia para la sostenibilidad social, económica y ambiental.

La “crisis del agua”, por su impacto, representa hoy el principal riesgo para la actividad económica mundial en los próximos 35 años (World Economic Forum, 2015). Por ello, grandes multinacionales ya vienen desarrollando en el mundo gestión corporativa del agua, pues son conscientes que deben prever, controlar y mitigar los riesgos físicos, regulatorios y reputacionales que una mala gestión del agua puede significar (CEO Water Mandate).

En este contexto mundial, el gobierno Suizo a través de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), materializó el proyecto SuizAgua Andina (SA) que se ejecute en Perú y Chile tomando los buenos resultados del proyecto piloto SuizAgua Colombia². Las empresas socias de SA Perú son: UNACEM, Nestlé, Mexichem, Duke Energy Perú y Camposol.

SA es un proyecto basado en el concepto de huella hídrica y su línea de trabajo con el sector privado se alinea a la norma ISO 14046 de medición de huella hídrica (Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines). Esta norma, que fue oficialmente aprobada en Julio del 2014, base su enfoque metodológico en el análisis de ciclo de vida, considerando los usos de agua directos e indirectos a través de la cadena de valor de un producto (o servicio), proceso u organización.

² Del que formaron parte 4 empresas de capitales Suizos: Clariant, Nestlé Colombia, Holcim y Syngenta.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

El presente reporte se constituye en el análisis de huella hídrica, acorde a la norma ISO 14046, de la empresa Duke Energy Perú en el segundo año del proyecto, lo que constituye además para la empresa una línea base que podrá tomar de referencia para sus próximos análisis de huella (oportunidades de mejora, registro de mejoras, etc). Se incluye en el presente documento los principales resultados y conclusiones obtenidos.

1.1. Descripción del análisis de Ciclo de Vida y Huella Hídrica

El constante consumo de recursos para la producción de bienes y servicios, junto con las emisiones y descargas de residuos que muchas veces están asociados a los procesos productivos, ha generado que se realicen esfuerzos para desarrollar herramientas que nos permitan evaluar y comprender de mejor manera el daño que producimos en las actividades humanas. Una de estas herramientas, cuyo objetivo apunta hacia un desarrollo sostenible, es el análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV evalúa los potenciales impactos medio ambientales y de salud humana asociados a un producto o servicio. Dependiendo del alcance, el análisis puede tomar en cuenta todas o parte de las etapas de la cadena de valor de un producto (extracción de recursos, fabricación del producto, distribución, uso o consumos y fin de vida).

El ACV es una herramienta reconocida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006) y pretende ayudar a detectar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental en el ciclo de vida de un producto o servicio y además otorgar información con base científica para la toma de decisiones, campañas de marketing y comunicación, entre otros (ISO 14044, 2006).



Dentro del ACV, la huella hídrica se define como un subconjunto específico de indicadores que abordan el consumo y la contaminación del agua y los correlacionan a potenciales impactos. Los principios, requisitos y directrices para realizar una evaluación de huella hídrica se presentan en la norma ISO 14046.

1.2. Contexto y antecedentes

Duke Energy Perú es una empresa peruana dedicada desde 1999 a la generación y comercialización de energía eléctrica, así como a la producción de gas natural seco, gas licuado de petróleo y gasolina natural a partir del gas natural. Estas operaciones han permitido a Duke Energy Perú a través de su unidad de negocio Aguaytía Energy del Perú SRL. Operar en sierra y selva del Perú (Website Duke Energy: www.duke-energy.com.pe).

La CTA es de propiedad de Termoselva SRL, una de las unidades de negocio de Duke Energy Corporation. Esta planta está ubicada en el distrito de Aguaytía, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Es de ciclo simple y cuenta con una capacidad de generación de energía de 175 MW, a partir de gas natural.

SUIZAGUA ANDINA propuso a Duke Energy Perú el siguiente proceso para desarrollar la gestión corporativa del agua:

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

- **Medición.** En el marco de la Norma ISO 14046, desarrollar un análisis de huella hídrica considerando los usos directos en sus operaciones propias así como los usos indirectos contenidos en su cadena de suministro y usos de energía.
- **Reducción.** La reducción se da en dos ámbitos; en el consumo directo y en el consumo indirecto. Para reducir en consumo directo, la empresa invierte en mejorar la eficiencia de los procesos operativos que utilizan agua, mejoran sus procesos de tratamiento de aguas residuales, así como reducir sus usos no productivos. Para reducir en consumo indirecto, la empresa trabaja con sus proveedores en mejor gestión del agua y busca mayor eficiencia energética.
- **Responsabilidad social corporativa del agua.** la empresa realiza acciones estratégicas para equilibrar el consumo de agua realizado: compensar y mitigar. Estas acciones deben desarrollarse en aquellas cuencas donde se haya identificado mayor impacto de huella hídrica.
- **Difusión.** La empresa disemina hacia otros actores de los gremios empresariales los beneficios de esta iniciativa, con la finalidad de generar masa crítica para incidir en políticas públicas que promuevan la gestión corporativa del agua.

Duke Energy decidió en 2013 analizar la Huella Hídrica de sus operaciones en las instalaciones de la CTA, de titularidad de Termoselva. El objetivo principal es proporcionar información a los directivos de Duke Energy Perú y a todas las áreas en sus diferentes niveles de toma de decisiones. Las conclusiones del presente informe serán usadas para proponer las medidas de reducción y responsabilidad social corporativa en agua que Duke Energy Perú debe desarrollar.



Duke Energy Perú replicará el proceso de análisis de huella hídrica en Duke Energy Ecuador, en donde ya inició el proceso de levantamiento de información para la planta Electroquil.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1. Objetivos y aplicación prevista

Analizar la huella hídrica del 1 kilowatt-hora generado a base de gas natural y en ciclo simple en la CTA, ubicada en el distrito de Padre Abad, Provincia de Pucallpa, Región Ucayali. Se determinará el balance hídrico, los consumos de agua y sus impactos en salud humana y ecosistemas.

Duke Energy Perú desarrolla este estudio en el marco de su estrategia corporativa de sostenibilidad, con la finalidad de implementar una herramienta para la gestión eficiente del recurso hídrico en todas sus operaciones. Este estudio está dirigido a las áreas operativas de Duke Energy Perú y Duke Energy Internacional; este estudio es independiente y no ha sido desarrollado con fines de comparación.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

A partir de los resultados de este estudio y en el marco del proyecto SuizAgua Andina Perú, del cual Duke Energy Perú es parte, se propone i) implementar acciones dentro de la empresa y con sus proveedores para reducir su huella hídrica y ii) desarrollar proyectos de responsabilidad social corporativa en agua para compensar y mitigar sus impactos hídricos en las cuencas identificadas.

2.2. Descripción general

La CTA está ubicada en el distrito de Aguaytía, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Cuenta con áreas administrativas, operaciones, campamentos y áreas verdes.



La CTA posee las siguientes unidades:

- Patio de Gas.** El patio de gas es la unidad al ingreso de la CTA donde se realiza el filtrado, medición, calentamiento y regulación de presión del gas natural. (El gas natural se produce fuera de la CTA; es suministrado por la empresa Aguaytía Energy del Perú S.R.L., que extrae y conduce el gas desde el Lote 31-C, ubicado al oeste de la ciudad de Pucallpa, a través de un gasoducto de aproximadamente 150 km. de longitud). La unidad de producción y conducción de gas no forma parte de la CTA. La producción y conducción de gas se considera como suministro.
- Turbina y Generador.** Es la central termoeléctrica en sí misma. La CTA es de ciclo simple, de la marca ABB (ahora ALSTOM), modelo GT11NM. Posee dos unidades mellizas. La capacidad ISO por unidad es de 86.294 MW; el número de unidades es 3600 RPM. La energía producida es entregada a través de un patio de llaves al sistema interconectado nacional en adelante el "SEIN". El sistema de enfriamiento es por aire, con intercambiador de calor en circuito cerrado de agua de enfriamiento para el alternador y el aceite lubricante.

La CTA está alejada de la zona urbana, en un entorno característico de la selva peruana. Está ubicada sobre la cuenca Aguaytía, una cuenca amazónica sin stress hídrico. Su fuente de agua es 100% subterránea, la que extrae mediante 2 pozos ubicados dentro de los linderos de la planta. Las aguas residuales de la CTA son de origen doméstico y son tratadas en una PTAR dentro de la CTA. Posteriormente son vertidas a una quebrada que desemboca en el río Aguaytía.

2.3. Sistema de estudio y unidad funcional

La función de la CTA es la producción de energía eléctrica a partir de la combustión de gas natural, para alimentar el SEIN.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

El propósito de este estudio es analizar el desempeño en términos de uso de agua a través de la huella hídrica, para la producción de energía termoeléctrica. Como unidad funcional (UF) se seleccionó **la producción de 1 kilowatt-hora de energía eléctrica**. La unidad funcional representa la base de cálculo con respecto a la cual se normalizan las entradas y salidas relevantes del sistema para el análisis de evaluación de la huella hídrica. Para realizar este estudio se definió trabajar “de la cuna a la puerta”, es decir, desde el origen de la materia prima utilizada hasta el punto en el cual la empresa entrega la energía al Sistema Interconectado Nacional SINAC, el periodo comprendido para el análisis fue entre enero del 2013 y diciembre del 2013 periodo en que produjo 391,343,750 kWh.

DATOS GENERALES



Tipo de Central	Central Termoeléctrica a gas natural de ciclo simple
Marca y modelo de unidades	ABB (ahora ALSTOM), modelo GT11NM
Capacidad ISO por unidad	86.294 MW
Número de unidades	3,600 RPM
Tipo de Combustible	Gas natural seco
Poder calorífico del Combustible (LHV)	882.3 BTU/pc neto
Tensión de generación	13.8 KV
Frecuencia	60 Hz
Capacidad de Transformador Principal de cada grupo	60/80/100 MVA ONAN/ONAF
Relación de Transformación de Transformador de cada grupo	223 / 13.8 KV

Tabla 1. Datos Generales de la Central Termoeléctrica Aguaytía

2.4. Límites del sistema

El límite geográfico considera integralmente la CTA. La definición del sistema incluye todas las etapas, procesos y flujos para la evaluación de la huella hídrica. Este debe contener todas las actividades relevantes teniendo en cuenta los objetivos del estudio y todos los procesos y flujos que puedan contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados al recurso hídrico.

El análisis de huella hídrica en la CTA de "Termoselva SRL" fue aplicado a toda la planta, utilizando el enfoque ACV “de la cuna a la puerta”, que incluye las etapas de obtención de materias primas,

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

insumos y energías (energía eléctrica y combustibles) usados en la producción de energía eléctrica hasta obtener el producto final, el cual es transferido al SEIN para su distribución. Se incluyó en este estudio las áreas administrativas, campamento y operaciones. Se excluyen las etapas de transportes, uso y disposición final del producto kWh. De acuerdo a lo comentado, el sistema se dividió en 3 etapas principales 1) Cadena de suministros 2) Energía y combustibles para transporte usados en la planta 3) Operación directa de la planta.

El límite temporal estudiado considera el año 2013; la información se ha recopilado en períodos mensuales y la consistencia de los datos analizados ha sido validada por la empresa.

Para el análisis de la cadena de suministros, se aplicó una regla de corte, bajo criterios económicos, para discriminar aquellos insumos cuya representación no alcance el 2% del total. Para la aplicación de esta regla se tomó en consideración el 100% de insumos consumibles adquiridos durante el periodo de estudio. Fruto de este análisis, solo el gas natural cumplió la regla de corte, con más del 99% de representatividad, discriminándose insumos como papel, lubricante y otros.

El gas natural se produce fuera de la CTA y se considera como un insumo. Dentro de la CTA se produce la combustión del gas natural; se consideran en el estudio los contaminantes emitidos al aire que podrían afectar al ecosistema agua por acidificación. La extracción, el transporte y la combustión del gas se consideran en un mismo proceso.

A continuación se muestra el detalle de los procesos estudiados:

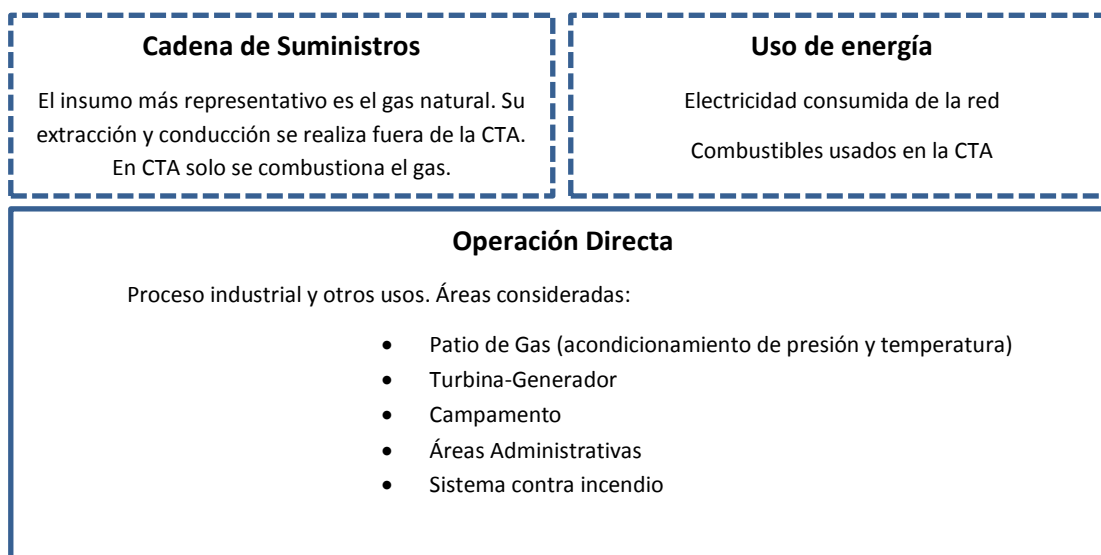




Figura 1. Procesos estudiados

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Se incluyeron todos los usos de agua de la producción de energía eléctrica, principalmente el agua para enfriamiento. Además se incluyeron usos generales de agua tales como usos en comedor, cocina, camerinos y uso de agua en baños. Con respecto a la cadena de suministros, el principal insumo considerado es el gas. En el caso de la energía, se consideró la electricidad consumido en el proceso de arranque y sostenimiento de sistemas y el combustible para transporte.

De acuerdo a la literatura revisada sobre huella hídrica en la generación de energía eléctrica, el impacto atribuible a la construcción de la infraestructura es del orden de 0.02% de la huella hídrica por agua consumida (MEKONNEN, Mesfin y otros, 2015, The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment). Por ello, el componente infraestructura no es considerado en este estudio.

Se dejó fuera del sistema de estudio el patio de llaves, que es el punto en el cual se transforma y entrega la energía al SEIN, pues no es parte del sistema que administra directamente Duke Energy Perú.



2.5. Reglas de asignación

La información secundaria usada en este estudio proviene de la base de datos Quantis Water Database 2015, que a su vez se basa en los sistemas de asignación definidos en ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005).

Es importante mencionar que el calor producido en la CTA no es un sub-producto comercial, por lo que no aplican reglas de asignación para el proceso de generación de energía. El calor es disipado por los sistemas de enfriamiento y no es reutilizado.

2.6. Datos de inventario, fuentes e hipótesis

La calidad de los resultados del análisis de huella hídrica está directamente relacionada con la calidad del inventario utilizado. En el presente estudio, se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema para el análisis de la huella hídrica. Con el propósito de considerar la variación estacional y/o mensual en la producción y por lo tanto en los requerimientos de agua, toda la información levantada de usos de agua, cadena de suministros y energía fue obtenida en base mensual. Toda la información recolectada son datos primarios entregados por personal de Duke Energy Perú vía planillas, fichas de recolección de información, e-mails, conversaciones telefónicas o en persona. En la información solicitada se consideraron ítems tales como entradas y salidas de agua (cantidad/calidad, fuente de extracción y receptor de descarga), entradas de materias primas, insumos, energías y combustibles utilizados en el proceso productivo o de transporte de insumos y/o personal, así como la salida de contaminantes y productos. Toda la información se recolectó de acuerdo a:

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

- **Insumos:** tipo y cantidad (masa) de insumo consumido en la central termoeléctrica.
- **Energía eléctrica:** kWh de energía consumida en el proceso de producción de la central termoeléctrica, área de campamentos, áreas administrativas y usos generales.
- **Combustibles:** Consumo de gas (MJ) y petróleo (kg)
- **Balance hídrico:** m³ de agua que ingresa y que sale de la CTA, se diferencia la fuente de extracción en las entradas, los usos de agua para procesos industriales y usos domésticos.
- **Contaminantes en el agua:** concentración (mg/L) de contaminantes a la salida de la planta.
- **Producción:** kWh producida durante el año de análisis de huella hídrica.



Luego de obtener las cantidades mensuales de cada uno de estos ítems, se calcularon los valores anuales y se normalizaron las cantidades requeridas por UF del estudio (flujos de referencia). El estudio se realizó para el período comprendido entre Enero 2013 y Diciembre 2013. Toda la información recolectada en cuanto a usos de agua, cadena de suministros, energía y combustibles es del período señalado.

Los datos de inventario que describen la huella hídrica (usos de agua e impactos) de los procesos de fabricación de las materias primas, insumos, energía y combustibles usadas en la CTA, fue obtenida a partir de la base de datos desarrollada por la consultora suiza internacional Quantis³. La base de datos está desarrollada a partir de la base de datos para análisis de ciclo de vida deecoinvent v2.2 (Frischknecht et al. 2005), que presenta información de datos de inventario de ciclo de vida para más de 4.000 procesos, productos y servicios. Se usó la base de datos global, en donde los procesos están extrapolados para promedios globales (Global Quantis Water Database). En el caso de la energía eléctrica, los procesos fueron asignados para el lugar de origen (para la electricidad se construyó un proceso ajustado para Perú), para la construcción del proceso ajustado se han considerado los porcentajes de producción de energía eléctrica en Perú del año 2012 y se considera que todo el sistema nacional es un sistema eléctrico interconectado.

2.7. Principales datos y supuestos

Las principales consideraciones efectuadas sobre los usos directos e indirectos de agua se presentan en la Tabla 1 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Es importante recalcar que se levantó la información en base mensual y que a partir de esta información se realizaron los cálculos para analizar la huella hídrica anual de la empresa: Enero 2013 – Diciembre 2013.

³ Cuyo Director científico formó parte del Comité que desarrolló la norma ISO 14046 de huella hídrica con el apoyo de COSUDE

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
		2013	kWh de energía eléctrica	001

Usos	Grupos	Fuente
Usos Directos de agua	Agua extraída de pozo para pruebas de sistema contra incendios	Calculado por balance hídrico y validado por la empresa
	Agua extraída de pozo para uso doméstico	Calculado por balance hídrico y validado por la empresa
	Agua extraída de pozo para sistema de enfriamiento	Calculado por balance hídrico y validado por la empresa
Usos	Grupos	Fuente
Usos Indirectos de Agua	Insumos para producción	Sistema de adquisiciones de la empresa. Cantidades medidas y registradas por la empresa, incluye el origen de los insumos.
	Electricidad	Medidores de electricidad. Cantidades medidas y registradas por la empresa, incluye el origen de los insumos.
	Petróleo	Sistema de adquisiciones de la empresa. Cantidades medidas y registradas por la empresa, incluye el origen de los insumos.
	Gas	Medidores de gas. Cantidades medidas y registradas por la empresa, incluye el origen de los insumos.

Tabla 2. Consideraciones y criterios de generales de cálculo



Se han realizado todos los esfuerzos posibles para que esta investigación esté basada en la información más creíble y representativa disponible. La información relativa a la producción, incluidos los insumos de producción, procesos de fabricación, distancia a proveedores inmediatos, medios de transporte y el uso la información se ha obtenido directamente del personal de Duke Energy Perú por medio de entrevistas, correos electrónicos y llamadas telefónicas. En algunos casos, las aproximaciones se realizan basándose en el mejor juicio del personal de Duke Energy Perú. Cuando no ha sido posible encontrar la data en las fuentes primarias, se han realizado determinaciones aplicando el juicio de expertos de ONG Agualimpia y Quantis.

2.7.1. Usos directos

Entradas y Usos de Agua

Agua subterránea (pozos): La única fuente de agua es subterránea y se extrae desde dos pozos ubicados dentro del área de la CTA. La profundidad de los pozos es 42.7 m y 56.0 m respectivamente. Los pozos de agua surten la demanda de:

- **Sistema de enfriamiento.** Se utiliza una planta de desionización para atender la demanda del sistema de enfriamiento de la termoeléctrica.
- **Uso doméstico.** Se utiliza un sistema de cloración para atender la demanda de agua de consumo doméstico, proveniente de los campamentos y áreas administrativas.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

- **Sistema contra incendios.** Se utiliza un estanque de almacenamiento de agua para alimentar en contingencias (y durante las fases de prueba) el sistema contra incendios.

Salidas de Agua

Descargas:

La salida del agua de uso doméstico ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada dentro del área de la CTA y luego es vertida a una quebrada que desemboca en el río Aguaytía.

Infiltraciones:

La salida de agua de las pruebas del sistema contra incendios SCI es vertida a las áreas verdes de la CTA como agua de riego. Una parte de esta agua se infiltra en el terreno y vuelve a formar parte del acuífero.

Agua consumida

- La salida de agua de las pruebas del sistema contra incendios SCI es vertida a las áreas verdes de la CTA como agua de riego. Una parte de esta agua se evapotranspira por la vegetación existente.
- La salida del agua de uso industrial es consumida por evaporación en el sistema de enfriamiento.

a. Agua extraída de pozo para sistema contra incendios



El agua para el sistema contra incendios que se utiliza en la CTA es extraída de pozo y almacenada en grandes estanques descubiertos. Esta agua es utilizada periódicamente, pues se deben ejecutar pruebas del sistema. Su descarga en las pruebas es para riego de áreas verdes. La tabla a continuación muestra el uso total de agua durante el 2013.

Entrada de agua al sistema	Cantidad 2013 (m3)	Lugar de Origen
Agua extraída de pozo para sistema contra incendios	389.66	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 3. Agua extraída de pozo para sistema contra incendios

b. Agua extraída de pozo para uso doméstico

El agua para uso doméstico es extraída del pozo, tratada y almacenada en tanques protegidos para su consumo en el área administrativa y de campamentos. La tabla a continuación muestra el uso total de agua durante el 2013.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

Entrada de agua al sistema	Cantidad 2013 (m3)	Lugar de Origen
Agua extraída de pozo para uso doméstico	11,300.00	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 4. Agua extraída de pozo para uso doméstico

c. Agua extraída de pozo para enfriadores

El agua para enfriadores es extraída de pozo, tratada y utilizada durante el proceso de producción. La tabla a continuación muestra el uso total de agua durante el 2013.

Entrada de agua al sistema	Cantidad 2013 (m3)	Lugar de Origen
Agua extraída de pozo para enfriadores	719.00	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 5. Agua extraída de pozo para enfriadores

d. Planta de tratamiento de agua residual doméstica y vertimiento al río

Para hallar el volumen total de agua a la salida de la planta de tratamiento de agua residual se consideró toda el agua que ingresa al sistema para uso doméstico. El proceso utilizado como referencia para el estudio se creó a partir de la eficiencia de la planta y las características físico-químicas del agua residual tratada y vertida.

Salida de agua del sistema	Cantidad 2013 (m3)	Cuenca
Efluente de Planta de tratamiento de agua residual	11,300.00	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 6. Efluente de Agua en PTAR

e. Agua evaporada en los procesos



Para determinar el volumen de agua evaporada en los procesos se ha considerado el 100% del agua de enfriamiento.

Salida de agua del sistema	Cantidad 2013 (m3)	Cuenca
Agua evaporada en los procesos	719.00	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 7. Agua evaporada

f. Agua para riego

En la zona no se requiere directamente agua para riego, pero se considera como tal al agua que es vertida a los alrededores verdes de la CTA luego de los ejercicios de prueba del sistema contra incendios. Para determinar el volumen de agua para riego en los procesos se ha considerado el 100% del agua de sistemas contra incendio. Este proceso considera un porcentaje de

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

evapotranspiración del orden de 54.67% y re infiltración al acuífero (45.33%). (Stefan Siebert, 2008)

Salida de agua del sistema	Cantidad 2013 (m3)	Cuenca
Agua para riego	389.66	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 8. Agua para riego

2.7.2. Usos indirectos: cadena de suministros

Aplicando la regla de corte indicada en la definición de límites del sistema (ver acápite 2.4), la matriz de inventario ha considerado un solo insumo en la cadena de suministros: el gas natural. La información de uso de este suministro fue proporcionada por el operador de la CTA.



Gas natural

Es el principal suministro utilizado para la producción de energía eléctrica en CTA. La producción del gas natural se da fuera de la CTA, en el distrito de Curimaná al oeste de Pucallpa y es transportado 150 km a través de gaseoductos hasta la termoeléctrica. La empresa productora del gas es Aguaytía Energy del Perú S.R.L..

Este insumo se ha clasificado como *"natural gas, high pressure, at consumer"* (gas natural, alta presión, al consumidor) (Faist Emmenegger, M. et al. 2007). Sin embargo, para considerar el impacto de las emisiones de combustión sin producir doble contabilidad de agua, se han considerado del proceso *"natural gas burned in power plant"* (gas natural combustionado en planta de energía) (Faist Emmenegger, M. et al. 2007) los factores de polución para salud humana y ecosistemas. Este proceso incluye el transporte del gas desde la unidad de producción hasta el consumidor, a través de gasoducto.

Para representar mejor los factores de impacto por disponibilidad de agua, los factores de WIIX e impactos por disponibilidad de agua en salud humana y ecosistemas del proceso *"natural gas, high pressure, at consumer"* se regionalizaron, es decir, se multiplicaron por la razón WSI Aguaytía/ WSI Global para representar el stress hídrico real de la zona, que es 0.0104 mientras que el promedio Global es 0.5892. El factor 0.0104 aplica tanto para Aguaytía como para Curimaná, según la aplicación para Google Earth de Pfister.

A continuación se muestra una tabla con los consumos durante el 2013.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Suministro /origen	Cantidad 2013 (MJ)	Lugar de Origen
Gas natural	5,312,632,339.39	Curimaná, Ucayali

Tabla 9. Consumos de gas natural

2.7.3. Usos indirectos – Energía y Transporte

Los consumos indirectos de agua están asociados al uso de combustibles y energía. En la evaluación de CTA se ha considerado los consumos en electricidad, gas, petróleo, combustible para transporte de suministros. Los datos fueron proporcionados por la empresa.

a. Electricidad



Si bien la planta produce electricidad, los consumos de electricidad considerados son los utilizados para el arranque de los motores y sistemas auxiliares. Los datos fueron proporcionados por la empresa en kWh.

El proceso utilizado se construyó utilizando 07 procesos de generación de energía de la base de datos y a partir de los porcentajes de producción de energía que cada tipo de generación representa (fuente: IEA 2012). A continuación se muestra la tabla referencial.

Tipo	IEA (2012)	Proceso en base de datos (Quantis Water Database)
Hidráulica de embalse	53.5%	electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U
Carbón	2.0%	electricity, hard coal, at power plant/UCTE U
Gas natural	39.2%	electricity, natural gas, at turbine, 10MW/GLO U
Biomasa	1.7%	electricity, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy/CH U
Diesel	3.6%	electricity, oil, at power plant/UCTE U
Eólica	0%	electricity, at wind power plant/RER U
Solar	0.1%	electricity, production mix photovoltaic, at plant/CH U

Tabla 10. Tipo de generación de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional de Perú

A continuación se muestra una tabla con los consumos durante el 2013.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Energía	Consumo 2013 (kWh)	Lugar de Origen
Electricidad	457,621.94	Aguaytía, Padre Abad, Ucayali

Tabla 11. Consumo de electricidad

b. Combustible para equipos fijos

Los consumos consideran el petróleo utilizado para equipos y maquinarias en la planta de producción. Los datos fueron proporcionados por la empresa en galones. El proceso se clasificó como “*diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U*” (Jungbluth, N. 2007). A continuación se muestra una tabla con los consumos durante el 2013. Por ser un volumen reducido, no se consideran las emisiones.

Combustible	Cantidad 2013 (gal)	Lugar de Origen
Consumo de Diesel	6.96	Ucayali

Tabla 12. Consumo de Diesel

c. Combustibles para transportes de personal

Los consumos de combustible han sido calculados a partir del consumo de las camionetas, vans, autos que se encargan del transporte de personal. El cálculo ha sido asumido por la empresa, sobre esos datos se pudo obtener los consumos totales por año.

El proceso se clasificó como “*diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U*” (Jungbluth, N. 2007). A continuación se muestra una tabla con los consumos durante el 2013. Por ser un volumen reducido, no se consideran las emisiones por combustión.



Combustible	Cantidad 2013 (gal)	Lugar de Origen
Petróleo para transporte de personal	7.73	Ucayali

Tabla 13. Consumo de combustibles para transporte de personal

d. Gas en el pre calentador

El consumo de gas en el pre calentador ha sido proporcionado por la empresa.

Este insumo se ha clasificado como “*natural gas, high pressure, at consumer*” (gas natural, alta presión, al consumidor) (Faist Emmenegger, M. et al. 2007). Sin embargo, para considerar el impacto de las emisiones de combustión sin producir doble contabilidad de agua, se han considerado del proceso “*natural gas burned in power plant*” (gas natural combustionado en planta de energía) (Faist Emmenegger, M. et al. 2007) los factores de polución para salud humana

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

y ecosistemas. Este proceso incluye el transporte del gas desde la unidad de producción hasta el consumidor, a través de gasoducto.

A continuación se muestra una tabla con los consumos durante el 2013.

Combustible	Cantidad 2013 (MJ)	Lugar de Origen
Gas Natural	13,524,246.20	Curimaná, Ucayali

Tabla 14. Consumo de Gas en pre calentador

2.8. Evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico

Acorde a la norma ISO 14046, la evaluación de huella hídrica debe incorporar un análisis de la alteración de cuerpos de agua a través de indicadores de impacto asociados a los usos consuntivos y que degradan la calidad del agua (agua descargada al entorno en un volumen y/o calidad menor a la cual fue tomada). La evaluación de impactos es el link entre el análisis de inventario de entradas y salidas del sistema y el potencial efecto que producen en el ambiente.



En el presente proyecto se realizó una evaluación integral de la huella hídrica, considerando todos los potenciales impactos ambientales relacionados al uso del agua. Como indicador de punto medio se consideró el índice de impacto hídrico (WIIX), desarrollado por Veolia (Veolia, 2011), y como categorías de punto final (categorías de daño, donde se produce el efecto ambiental), se evaluaron los impactos potenciales en la salud humana y la calidad de los ecosistemas. Los indicadores de impacto evaluados en estas categorías son:

Salud Humana

- Desnutrición causada por consumo de agua (Pfister et al. 2009)
- Enfermedades causadas por toxicidad del agua (USEtox; Rosenbaum et al. 2008)

Calidad de los ecosistemas

- Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas (Pfister et al. 2009)
- Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos de río (Hanafiah et al. 2011)
- Reducción de disponibilidad de agua subterránea para los ecosistemas (Van Zelm et al. 2011)
- Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica (Maendly y Humbert, 2012)
- Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación (Verones et al. 2010)
- Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad (USEtox; Rosenbaum et al. 2008)
- Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización (Goedkoop et al. 2009)

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

- Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación (Jolliet et al. 2003)

El WIIX es un balance hídrico, en donde los caudales de entrada y salida están ponderados por factores de calidad y estrés hídrico de la zona donde se usa el agua, por ende el cálculo entrega un consumo equivalente de agua (ej. m3 eq.), debido a la caracterización de calidad y estrés que tiene asociado el indicador (Bayart et al. 2014). Los indicadores de impacto de punto final, se evalúan a nivel de impactos potenciales en salud humana e impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas, ambos generados por una reducción en la disponibilidad y/o calidad del agua (perturbación química y/o física) en un entorno definido. En el caso de los impactos potenciales en la salud humana, ellos son expresados en DALY (Disability Adjusted Life Years) que son años de vida perdidos por muerte prematura o por discapacidad. Los impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas se expresan en PDF*m2*y (potentially disappeared fraction of species per m2 per year) y se refieren a la fracción de especies que desaparece en una unidad de superficie de 1 m2 durante un año (Humbert et al. 2012).





Figura 2. Clasificación de los indicadores de impacto de punto final (Quantis)

2.9. Análisis de calidad de datos



La calidad se evaluó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- **Precisión:** relacionada con las fuentes de los datos, métodos de adquisición y métodos de verificación. Datos fiables son aquellos que se han verificado y medido directamente. El criterio está relacionado con la cuantificación del flujo del proceso.
- **Integridad:** representa la exhaustividad de los datos recolectados. Los datos son completos cuando todos los elementos involucrados en la actividad o proceso son cuantificados.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	



- **Representatividad:** evalúa la correlación geográfica y tecnológica. Los datos son representativos cuando la tecnología corresponde a la usada realmente. Este criterio se refiere principalmente a la elección de los procesos utilizados cuando se modela el sistema.
- **Consistencia:** evalúa si la metodología del estudio es aplicada en la misma forma a todos los datos.
- **Reproducibilidad:** evalúa si la información sobre los datos y el método permite reproducir los resultados del estudio.
- **Incertidumbre:** da una evaluación cualitativa de la incertidumbre de los datos.

En general, la calidad de los datos es buena porque han sido entregados directamente por el área de operaciones de Duke Energy Perú, revisados y validados por la empresa. Algunos datos tienen precisión media debido a que se han calculado a partir de balances de masa, como el agua extraída de pozo para uso doméstico e industrial (Es recomendable instalar caudalímetros para tener resultados más precisos). La representatividad es media, pues los procesos no corresponden directamente a estudios de producción en Perú, sino que han sido regionalizados a Perú desde un dataset cuyo origen es principalmente europeo (Base de datos Quantis).

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046				
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional		Reporte
		2013	kWh de energía eléctrica		001

Etapa del Ciclo de vida	Detalles del proceso	Descripción de los datos	Fuente de los datos	Importancia de los datos	Cobertura de tiempo, geográfica y tecnológica	Precisión e integridad	Representatividad y consistencia	Reproducibilidad e incertidumbre
Usos directos	Agua extraída de pozo para sistema contra incendios	Para producción de energía eléctrica	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Media precisión, completo	Buena representatividad y consistencia	Reproducibile y baja incertidumbre
	Agua extraída de pozo para uso doméstico	Para producción de energía eléctrica	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Media precisión, completo	Buena representatividad y consistencia	Reproducibile y baja incertidumbre
	Agua extraída de pozo para enfriadores	Para producción de energía eléctrica	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Media precisión, completo	Buena representatividad y consistencia	Reproducibile y baja incertidumbre
Usos indirectos en Cadena de Suministros	Gas natural	Para producción de energía eléctrica	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Buena precisión, completo	Representatividad y consistencia media	Reproducibile y baja incertidumbre
Usos indirectos en energía y transporte	Consumo de energía eléctrica	Para los servicios auxiliares y arranque de motores	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Buena precisión, completo	Representatividad y consistencia media	Reproducibile y baja incertidumbre
	Diesel	Equipos Fijos y Transporte de personal	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Buena precisión, completo	Representatividad y consistencia media	Reproducibile y baja incertidumbre
	Gas	Para pre calentador	Unidad de Operaciones Termoselva SRL	Alta	Perú, 2014	Buena precisión, completo	Representatividad y consistencia media	Reproducibile y baja incertidumbre

Tabla 15. Análisis de calidad de datos

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

2.10. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad verifica la solidez de las conclusiones. El objetivo es evaluar la sensibilidad de los resultados con respecto a los supuestos establecidos para algunos parámetros clave y determinar si las principales conclusiones del estudio se mantienen.

En el análisis de sensibilidad, se cambiará el proceso de la base de datos seleccionado para modelar algunas entradas de la cadena de suministros que presenten incertidumbre⁴ y se evaluará el efecto que producen en los resultados globales.

2.11. Revisión crítica interna

La elaboración del presente informe ha correspondido a la ONG Agualimpia (Alejandro Conza; Rony Laura), con asesoría técnica de Quantis Internacional (Sandi Ruiz; Simon Gmüender).

La revisión crítica interna está a cargo de un experto en el campo del Análisis del Ciclo de Vida y consultor de Quantis Internacional: Xavier Bengoa. El proceso de revisión crítica consiste en un escrutinio del informe por parte del revisor. El revisor proporciona sus comentarios y los remite a los autores del reporte. Los autores realizan las correcciones y/o sustentos pertinentes y adjunta sus comentarios. El proceso de revisión crítica se encuentra documentado en el anexo A.

⁴ Incertidumbre se referencia a la existencia de dudas sobre los procesos usados para modelar los insumos

3. RESULTADOS

Todos los resultados que se presentan a continuación son exclusivos del periodo en el que se realizó el análisis de huella hídrica (Enero – Diciembre 2013)

3.1. Balance Hídrico directo

Para elaborar el balance hídrico directo se cuantificaron todas las entradas y salidas de agua para el período de estudio.

Según el balance hídrico anual (figura 5), las entradas y salidas alcanzaron los 12,408.66 m³ de agua en el año 2013.

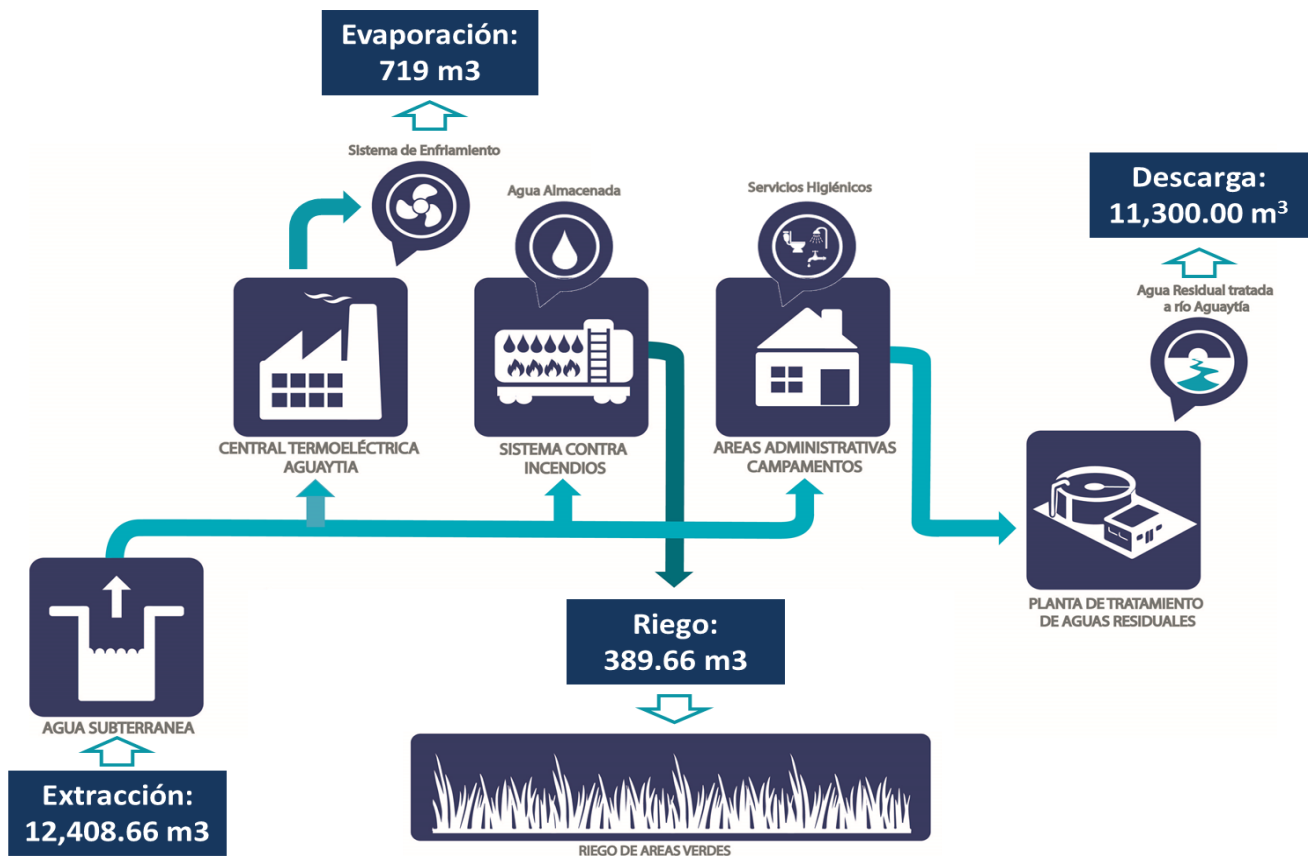


Figura 3. Balance Hídrico Directo de la Central Termoeléctrica Aguaytía CTA (2013)

Todos los volúmenes utilizados y reportados fueron estimados en base a cálculos realizados y validados por el personal de Duke Energy Perú, considerando demandas operativas y capacidad de almacenamiento y uso; al momento de realizar el estudio no se contaba con registros de lectura

de medidores de caudal. A continuación la figura 6 muestra las entradas y salidas de agua por kilowatt-hora (unidad funcional) en el período de estudio.

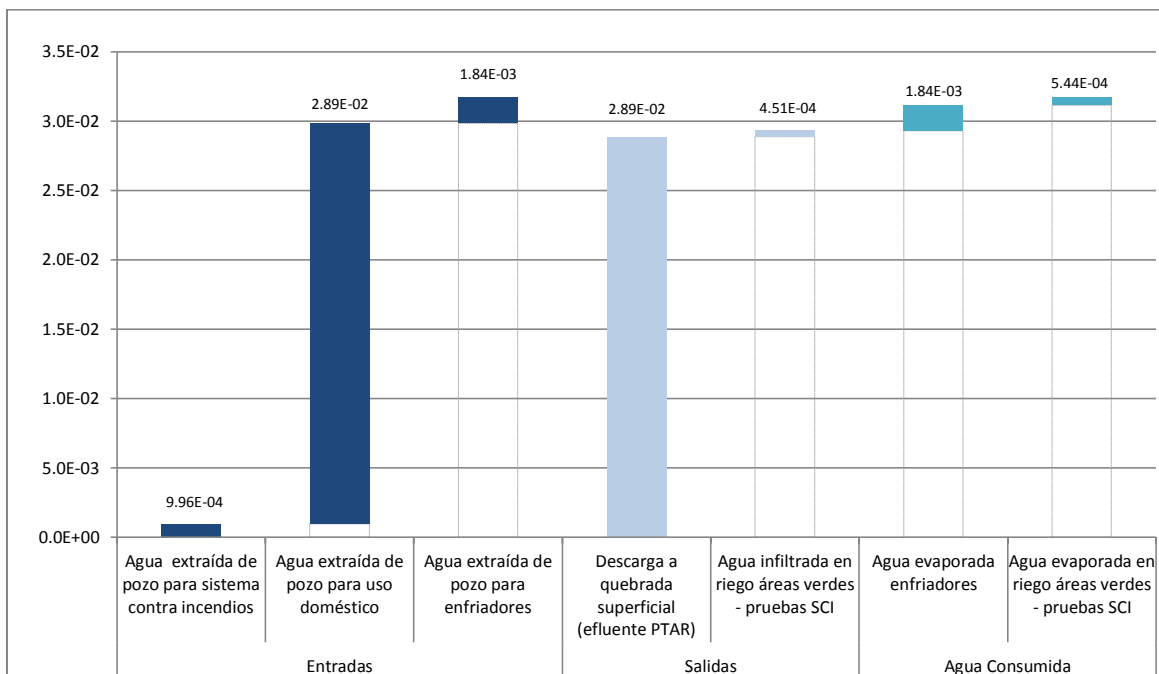


Figura 4. Balance Hídrico Directo de la CTA por kWh, en litros (2013)

La Figura 4 muestra las entradas y salidas directas de agua, así como el agua consumida directa, expresada en litros. Se puede observar que, por unidad funcional (kWh), el balance de agua es de 3.17E-02 litros. Del volumen total de agua que ingresó a la CTA, el 92% retornó al sistema hídrico de la cuenca y el 8% restante fue consumido. Los mayores volúmenes de agua se requieren para el consumo doméstico, pero este volumen es devuelto a la cuenca luego de su tratamiento. En el caso específico del agua consumida en el sistema de enfriamiento, este valor resulta ser bajo en comparación con los valores de referencia de estudios similares en termoeléctricas (MEKONNEN, Mesfin y otros, 2015, The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment). Sin embargo, es importante considerar que el sistema de enfriamiento en CTA es de aire y agua, en sistema cerrado, con mínimas pérdidas de agua por evaporación.

3.2. Agua Consumida

El agua consumida se refiere al agua dulce extraída que no es devuelta a la cuenca de origen debido a que es evaporada, evapotranspirada, incorporada en los productos, trasvasada de cuenca o vertida al mar (Definición en ISO 14046). Corresponde a la huella azul de la metodología de huella hídrica de Water Footprint Network (WFN) (Hoekstra et al. 2011). La figura 5 muestra los consumos directos (agua consumida directamente por la operación) e indirectos (agua consumida

en los procesos de fabricación de los insumos y energías consumidas en la operación) por unidad funcional producida.

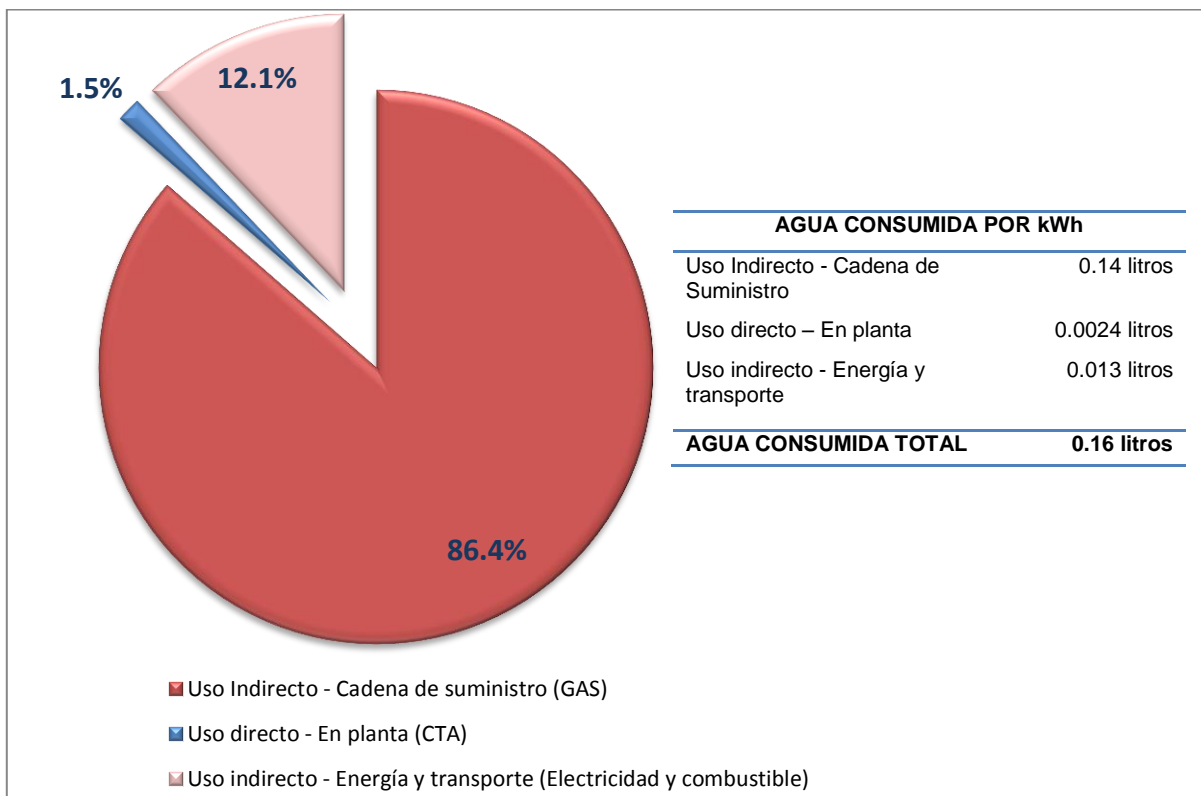


Figura 5. Agua Consumida por Unidad Funcional (2013)

Del cuadro de inventario construido, se determina que el agua consumida total es 0.16 litros de agua por kilowatt-hora de energía producida; el 98.5% es consumo indirecto y el 1.5% es consumo directo. En el consumo indirecto, la cadena de suministros representa 0.14 litros de agua por kWh (86.4%) y el consumo indirecto asociado a uso de electricidad y combustible representa 0.02 litros de agua por kWh (12.1%). En el consumo directo, se asigna un valor de 0.0024 litros de agua por kWh (1.5%) por los usos dentro de la CTA.

Al ser la combustión del gas natural la base de la producción de energía eléctrica en CTA, resulta previsible que su mayor consumo de agua esté asociado a este insumo.

A continuación, la figura 6 muestra cómo están conformados los consumos directos de agua. A partir de esta información se pueden identificar los puntos críticos de consumo para intervenir con acciones de reducción de consumo de agua.

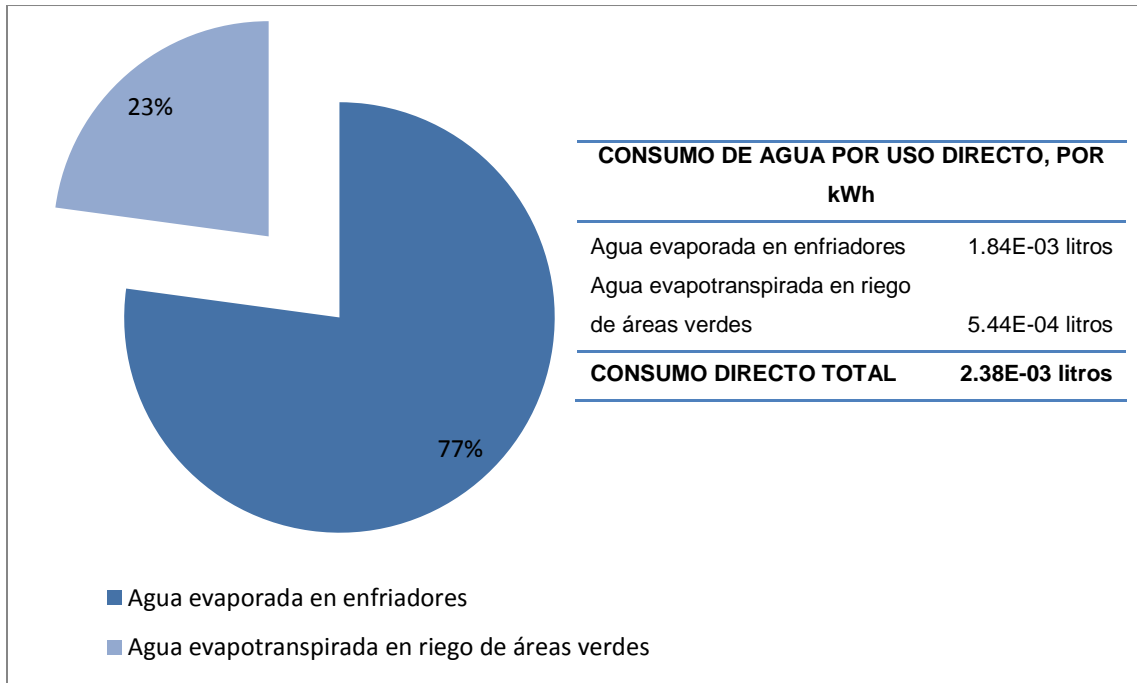


Figura 6. Detalle de Consumo de Agua por uso directo, por kWh (2013)

En la figura 6 se aprecia que los dos únicos consumos de agua en la CTA están en la evaporación de agua en el sistema de enfriamiento (77%) y en el agua evapotranspirada que se dirige a riego de áreas verdes, luego de las pruebas periódicas del sistema contra incendio (23%).

A continuación, las figuras 7 y 8 muestran en detalle la asignación de los consumos indirectos.

CONSUMO DE AGUA POR USO INDIRECTO EN CADENA DE SUMINISTROS, POR kWh	
Gas Natural	0.14 litros

Figura 7. Detalle de consumo de agua por uso indirecto de gas. Incluye producción y transporte de gas, por Unidad Funcional (2013)

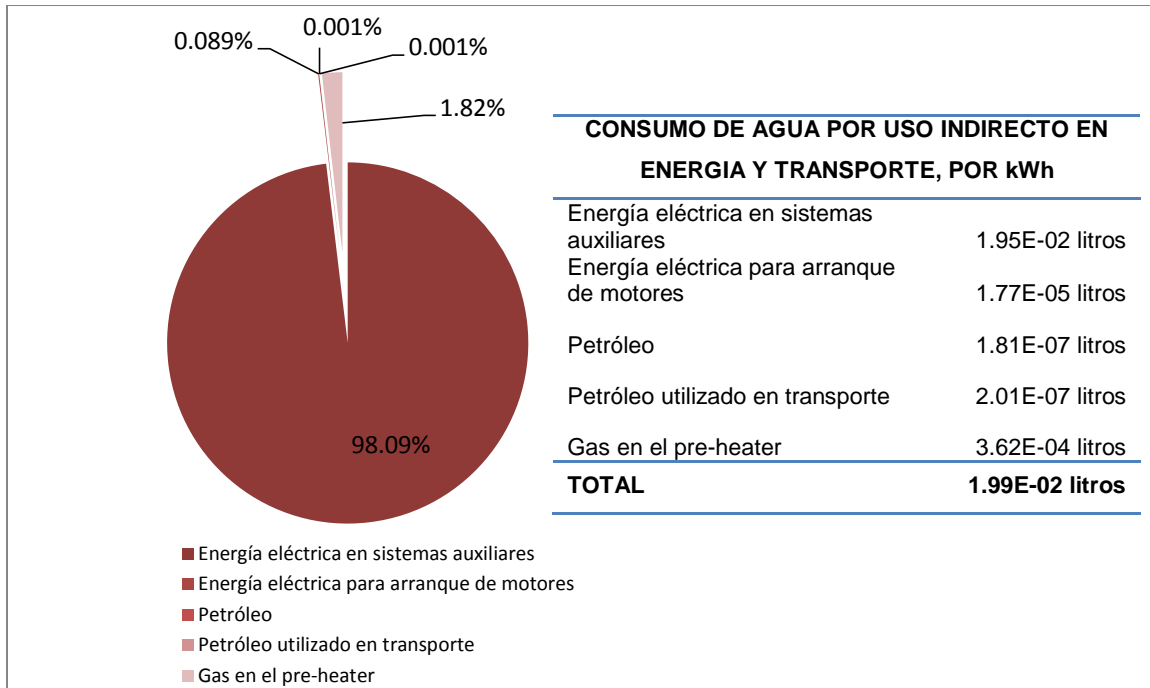


Figura 8. Detalle de Consumo de Agua por uso indirecto en energía y transporte, por Unidad Funcional (2013)

La figura 7 muestra que el consumo de agua por uso indirecto en la cadena de suministro está 100% representada por el gas natural. Esto se debe a que en el análisis de los otros suministros, ninguno resultó representativo en comparación con el gas natural (ver 2.4 Límites del Sistema). La figura 8 muestra el consumo de agua por uso indirecto de energía y transporte. En este gráfico se observa que el mayor consumo de agua se representa en el uso de energía eléctrica en los sistemas auxiliares de la CTA (98.09%), es decir, todo el funcionamiento de los sistemas de control. Le sigue en orden de importancia el consumo de agua representado por el uso de gas en el pre calentador (1.82%), antes del proceso de combustión. Los otros usos de energía no resultan representativos en relación al agua consumida.

3.3. Indicadores de Impacto

3.3.1. Índice de Impacto Hídrico (WIIX)

El índice WIIX combina el consumo de agua, el stress hídrico y la calidad del agua residual vertida para estimar el impacto generado a los recursos hídricos.

La CTA se encuentra en la cuenca Aguaytía, una cuenca con bajo stress hídrico. Duke Energy Perú realiza en la CTA tratamiento de sus aguas residuales y las vierte tratadas a una quebrada que desemboca en el río Aguaytía.

Para calcular el factor de calidad del WIIX asociado a estas descargas, se tomó como referencia el valor promedio de la caracterización mensual (año 2013) del efluente de la planta de tratamiento

de aguas residuales, resultados que cumplen con la normatividad nacional para límites máximo permisibles. Las concentraciones de referencia que se usaron para calcular el factor de calidad son las propuesta por Boulay (Boulay et al.,2010). El índice de impacto hídrico además geo-referencia este impacto en la zona donde ocurre a través del índice de estrés hídrico local (*Water Stress Index, WSI*). Duke Energy se encuentra en una zona con bajo estrés hídrico (número de Pfister, WSI de 0.0104).

A continuación la Figura 9 muestra el WIIX total desagregado por tipos de uso, directo e indirecto:

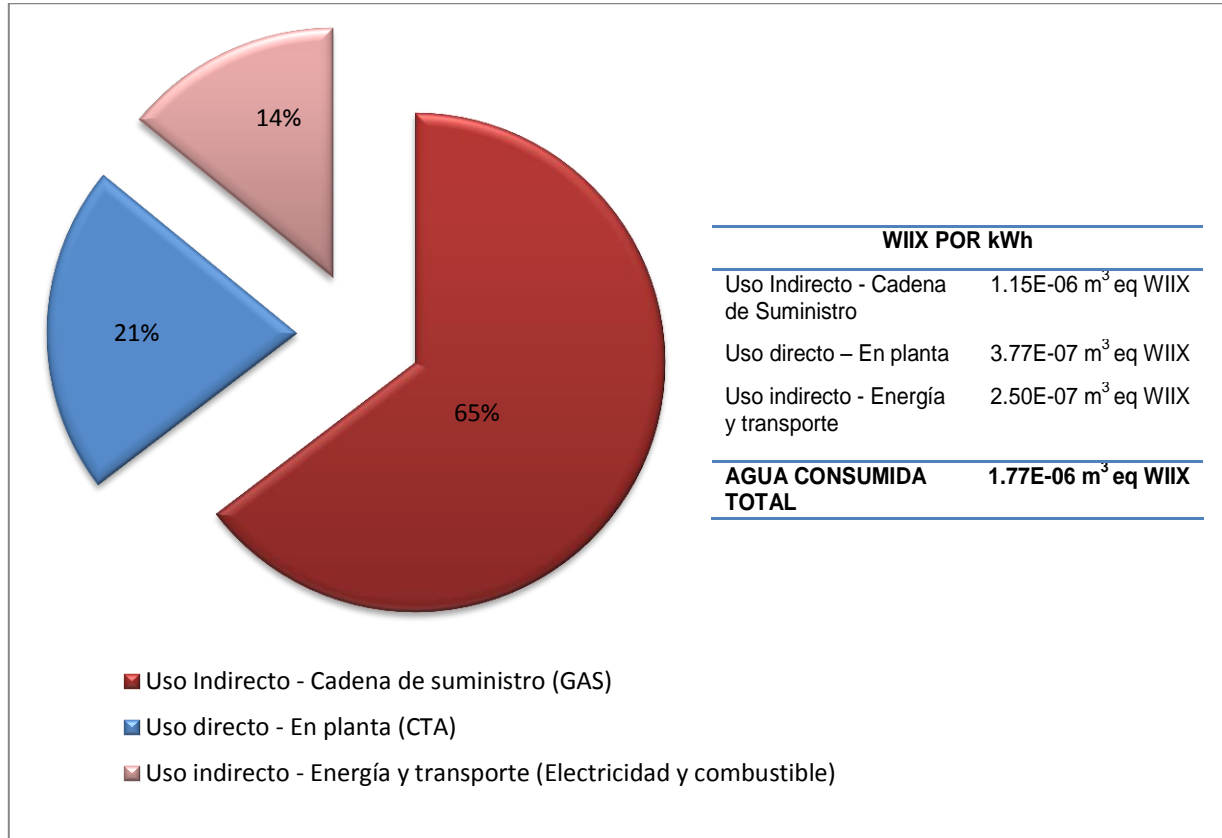


Figura 9. Cálculo de Índice de Impacto Hídrico WIIX, Directo e indirecto (2013)

El índice de impacto hídrico WIIX total es 1.77 E-06 m³eq/UF. La figura muestra que el 65% (1.15 E-06 m³eq/UF) del impacto hídrico es producto del uso indirecto en cadena de suministros, mientras que el 21% (3.77 E-07 m³eq/UF) está representado por el uso directo de agua. El 14% (2.50 E-07 m³eq/UF) del WIIX se atribuye al uso indirecto de agua en energía y transporte. Si bien el uso indirecto de agua en la cadena de suministros sigue representando el impacto más importante, resalta el crecimiento en orden de magnitud del WIIX producido por el consumo directo, en relación al análisis de agua consumida.

3.3.2. Impactos potenciales en la salud humana y ecosistemas

La metodología incluye la evaluación de impactos potenciales de punto final en salud humana y en calidad de los ecosistemas. Estos indicadores presentan impactos tanto por reducción de la disponibilidad de agua (al hacer un uso consuntivo del recurso), como por alterar la calidad física o química de los cuerpos receptores, lo que se traduce en impactos hacia el ser humano y ecosistemas. A continuación la Figura 10 muestra los impactos potenciales en la salud humana y la Figura 11 muestra los impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas (perfiles de huella hídrica). En el cálculo de estos impactos se usaron los mismos supuestos de calidad de efluentes que en el caso del WIIX.

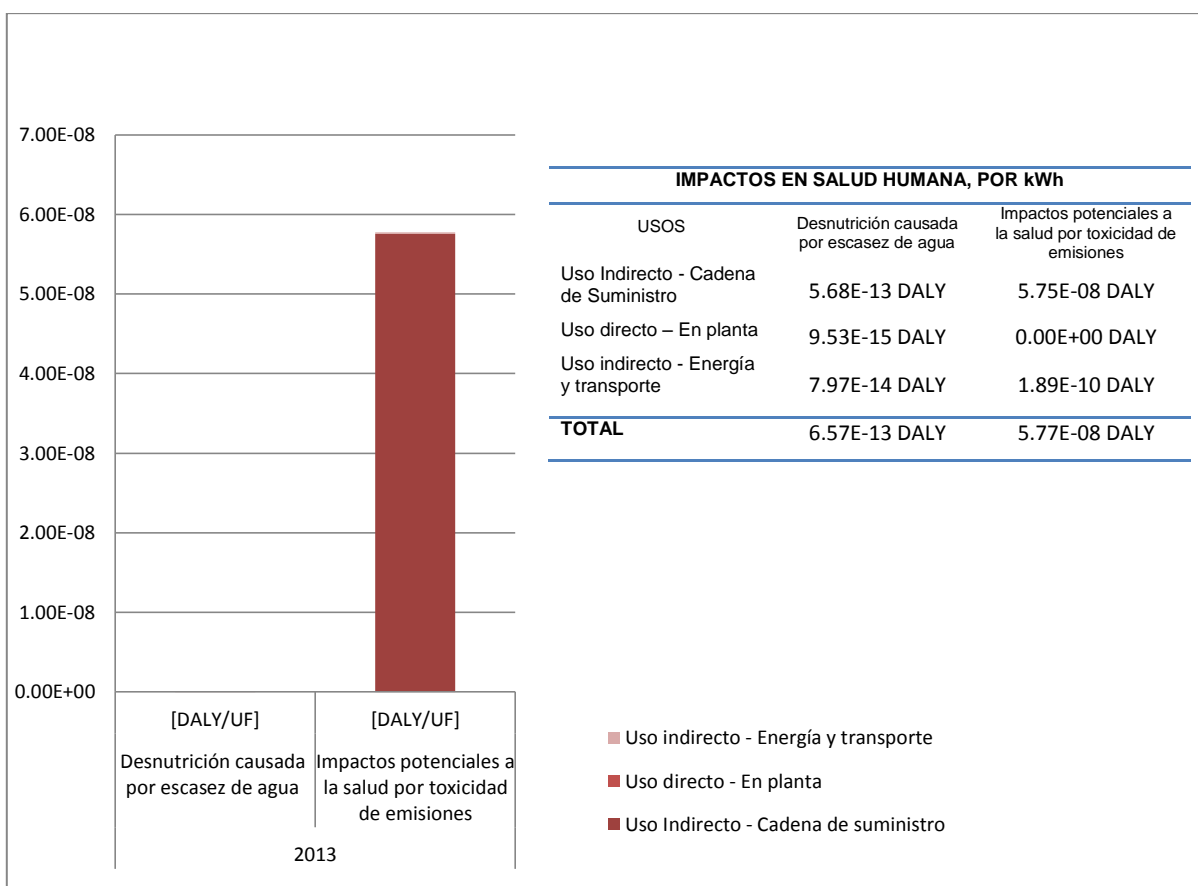


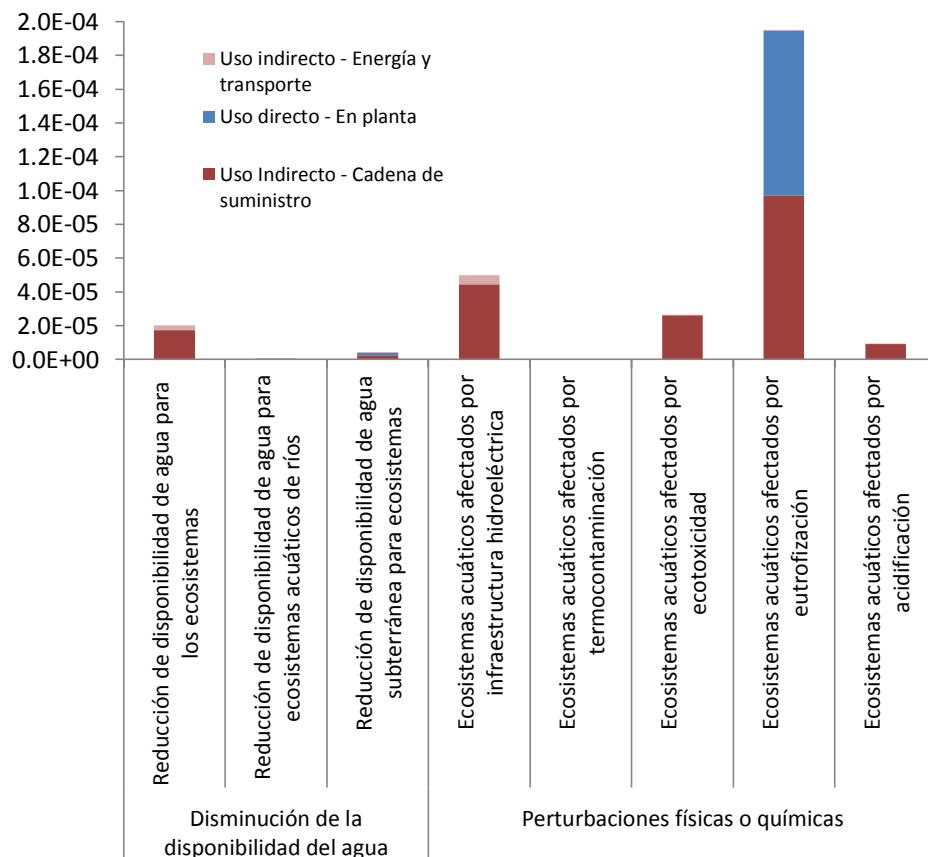


Figura 10. Impactos Potenciales en salud humana producidos en CTA

Según el análisis de huella hídrica efectuado, 1 kWh producido durante el 2013 en la planta de “Aguaytía” tiene un impacto en la salud humana de 5.77×10^{-8} DALY/UF. El 99.99% se atribuye a impactos potenciales a la salud por toxicidad de emisiones.

En relación al origen, el 99.7% del impacto potencial en salud humana corresponde al impacto atribuido al gas natural.



	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
		2013	kWh de energía eléctrica	001



IMPACTOS EN SALUD HUMANA, POR kWh			
Disminución de la disponibilidad del agua [PDF-m2-año/UF]			
USOS	Reducción de disponibilidad de agua para los ecosistemas	Reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas acuáticos de ríos	Reducción de disponibilidad de agua subterránea para ecosistemas
Uso Indirecto - Cadena de Suministro	1.74E-05	1.51E-07	2.38E-06
Uso directo - En planta	2.92E-07	1.96E-09	1.69E-06
Uso indirecto - Energía y transporte	2.45E-06	1.25E-08	9.3E-09
TOTAL	2.02E-05	1.66E-07	4.07E-06

IMPACTOS EN SALUD HUMANA, POR kWh					
Perturbaciones físicas o químicas [PDF-m2-año/UF]					
USOS	Ecosistemas acuáticos afectados por infraestructura hidroeléctrica	Ecosistemas acuáticos afectados por termocontaminación	Ecosistemas acuáticos afectados por ecotoxicidad	Ecosistemas acuáticos afectados por eutrofización	Ecosistemas acuáticos afectados por acidificación
Uso Indirecto - Cadena de Suministro	4.45E-05	1.64E-08	2.62E-05	9.70E-05	9.07E-06
Uso directo - En planta	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.77E-05	0.00E+00
Uso indirecto - Energía y transporte	5.39E-06	2.33E-10	8.66E-08	5.35E-07	2.27E-08
TOTAL	4.99E-05	1.66E-08	2.63E-05	1.95E-04	9.09E-06

Figura 11. Impacto Potencial en la calidad de los ecosistemas producido por la CTA

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

Según el análisis de huella hídrica efectuado, 1 kWh producido durante el 2013 en la planta de “Aguaytía”, tiene un impacto en el Ecosistema de 3.05×10^{-4} PDF-m2-año/kWh. El 92% de todo el impacto en ecosistemas se atribuye a perturbaciones físicas o químicas, principalmente afectación por eutrofización (64%).

En relación al origen, 64.5% del impacto potencial en el ecosistema se produce en la cadena de suministros (gas natural) y el 32.7% es producido por el consumo directo de agua en la CTA.

4. DISCUSIÓN

Todas las dimensiones de inventario e impacto de punto medio y final pueden resumirse en el siguiente cuadro, denominado “Matriz de puntos críticos”.

HOTSPOTS 2013	Agua Consumida Huella Hídrica	Impacto Hídrico WIIX	Impacto en Salud Humana	Impacto en Ecosistemas
Usos Directos (Producción)	1.5%	21%	0.0%	32.7%
Usos Indirectos (Cadena de Suministros)	86.4%	65%	99.7%	64.5%
Usos Indirectos (Energía y Combustibles)	12.1%	14%	0.3%	2.8%

Tabla 16. Puntos críticos de análisis de huella hídrica CTA (2013)



i) 50 – 100%: Tonos rojos de menor a mayor intensidad, ii) 0 – 50%: Tonos verdes de mayor a menor intensidad.

La tabla 16 muestra los puntos críticos, resumiendo todo el perfil de análisis de huella hídrica desarrollado. Se pueden identificar los cuatro grupos medidos: Agua Consumida, Impacto Hídrico - WIIX, Impacto en la Salud Humana, Impacto en la Calidad de los Ecosistemas; versus las categorías de uso.

En general el consumo e impactos generados por el uso del gas natural (consumo indirecto - cadena de suministros) son los más significativos: 86.4% del agua consumida, 65% del impacto Hídrico WIIX, 99.7% del impacto potencial en Salud Humana y 64.5% del impacto potencial en ecosistemas.

Es importante notar que tanto en el análisis de WIIX como en el análisis de impacto en ecosistemas se incrementa la importancia en términos de impacto del uso directo de agua, ello se debe al bajo estrés hídrico que hace resaltar los impactos por alteración de la calidad física y química.

A continuación, detalles sobre el análisis de cada aspecto de la huella hídrica de la CTA.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

4.1. Agua Consumida

El estudio de Mekonnen “Huella hídrica consuntiva de la electricidad y el calor: una evaluación global”, (MEKONNEN, Mesfin y otros, 2015), concluye respecto a la generación termoeléctrica que en el caso de la electricidad proveniente de combustibles fósiles y energía nuclear, la contribución más importante a la huella hídrica azul (agua consumida) proviene de la etapa de operaciones, donde la mayor pérdida se origina en los sistemas de enfriamiento. Sin embargo, indica que hay muchas diferencias según las tecnologías de enfriamiento aplicadas. El consumo es mayor en torres de enfriamiento frente a sistemas de enfriamiento secos (aire forzado) o a otros que utilizan agua de mar. En todos los casos, hay también un impacto importante por termo contaminación.

En la CTA se observa que el mayor uso de agua es para fines domésticos en campamentos y áreas administrativas. Sin embargo, este uso no es agua consumida, pues el 100% del agua doméstica es tratada en una PTAR y luego devuelta a la cuenca.



Analizando la figura 5, se hace evidente que el agua consumida total (consumos directos más indirectos) se debe principalmente a la cadena de suministros (90%), donde el gas natural es el insumo representativo en este estudio. Puede ser no estratégico gestionar la reducción de consumos de agua desde la reducción del consumo de gas o cambio de origen/proveedor, pues ese es un proceso elemental, sin embargo, siempre mejorar la eficiencia energética será favorable para la reducción de huella hídrica.

En la misma figura 5 se observa que el agua consumida relacionada al uso directo en la CTA representa el 1.5%. En la figura 8, se identifica que 77% de este consumo proviene del agua evaporada en el sistema de enfriamiento y el 23% proviene de la evapotranspiración en riego. Siempre resulta importante gestionar de manera eficiente el recurso hídrico en la operación de la CTA, pues es donde se tiene mayor control para tomar medidas.

4.2. Índice de impacto hídrico, WIIX

En el análisis del WIIX (figura 9) se observa que el mayor orden de importancia lo tiene el uso indirecto de agua en la cadena de suministros, tal cual sucedía en el análisis de agua consumida. Sin embargo se observa un crecimiento del impacto del uso directo de agua en la CTA, en relación al análisis del agua consumida; pasa de un 1.5% de importancia (en análisis de agua consumida) a un 21% de importancia (en análisis de WIIX).

Lo que explica la importancia adquirida por el uso directo es que el índice de stress hídrico (WSI) de la cuenca de Aguaytía es bajo, por lo que adquiere mayor peso el factor de calidad de agua retornada a la cuenca. Si bien la CTA opera directamente una PTAR dentro de su operación para

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

los efluentes domésticos y si bien los parámetros de salida de la PTAR cumplen con la normativa nacional (evaluaciones trimestrales), los parámetros de referencia utilizados en el estudio (Bouley et al., 2010) son bastante más conservadores.

4.3. Impactos potenciales en salud humana y calidad de los ecosistemas

4.3.1. Impactos potenciales en salud humana

Desde la perspectiva del uso, en el análisis de impactos potenciales en salud humana se observa que el mayor orden de importancia lo tiene el uso indirecto de agua por uso del gas natural (cadena de suministros). Alcanza un 99.7% de representatividad.

Desde la perspectiva del tipo de impacto, los impactos potenciales por toxicidad en salud humana se encuentran en el orden de magnitud de 5.77E-8 DALY/UF (99.99%) y los impactos potenciales por desnutrición en el orden de 6.57 E-13 DALY/UF, valor casi insignificante en comparación con el primero.



En conclusión, es la alteración de la calidad físico-química del recurso hídrico atribuible a la producción de gas natural la que posee casi absoluta representación de los impactos potenciales en salud humana.

4.3.2. Impactos potenciales en la calidad de los ecosistemas

Desde la perspectiva del uso, en el análisis de impactos potenciales en la calidad de ecosistemas se observa que el mayor orden de importancia (64.5%) lo tiene el uso indirecto de agua en la producción de gas natural (cadena de suministros), tal cual sucede en el análisis de agua consumida, WIIX y de impactos en salud humana. Vuelve a destacar el impacto relacionado al uso directo de agua en la planta, el cual representa el 32.7% del impacto potencial total en calidad de ecosistemas.

Desde la perspectiva del tipo de impacto, el impacto potencial para la calidad de los ecosistemas más relevante es la perturbación por eutrofización (64%). Esta es atribuida casi en la misma proporción al uso indirecto del gas natural (49.7%) y al uso directo de agua en la CTA (50.1%). Le sigue en orden de importancia el impacto potencial por afectación de ecosistemas acuáticos por infraestructura hidroeléctrica (16.4%).

La reducción de disponibilidad de agua para ecosistemas mide el impacto potencial en los ecosistemas causado por consumo de agua dulce. Este indicador de categoría de impacto tiene en cuenta el daño a la vegetación por menor disponibilidad de agua debido al consumo de agua para otros fines. Las perturbaciones por eutrofización miden el impacto potencial en los ecosistemas de

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

agua dulce causado por eutrofización. Este indicador de categoría de impacto tiene en cuenta los daños a la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce por emisión de fósforo y/o otras sustancias eutrofizantes.

Lo que explica la importancia adquirida por el impacto asociado al uso directo de agua en la CTA es que, si bien la CTA opera una PTAR para efluentes domésticos que cumple los parámetros de salida acorde a la normativa nacional, los parámetros de referencia utilizados son bastante conservadores en relación a la emisión de sustancias eutrofizantes.

4.4. Análisis de sensibilidad

Debido a la importancia del gas natural como insumo en la cadena de suministros, se ha elegido el proceso asociado (natural gas, high pressure, at consumer/RER U) para realizar el análisis de sensibilidad asociando dos procesos diferentes.

El proceso base considera el gas como insumo y, adicionalmente, sus emisiones luego de la combustión. Los consumos de agua directos e indirectos del proceso de combustión no se incluyen, pues forman parte del propio estudio y ha sido el objetivo del mismo determinarlos para el caso de CTA.

Para un primer escenario, se sustituye el gas natural (Natural gas, high pressure, at consumer/RER U) por un proceso que incluye la combustión del gas natural en un motor de gas en una planta de ciclo combinado, para generación de energía de reserva. (Natural gas, burned in gas motor, for storage/GLO U). En este escenario, se simula un cambio de tecnología de combustión: motor por turbina.

En el segundo escenario, se sustituye el gas natural (Natural gas, high pressure, at consumer/RER U) por un proceso de combustión de gas para cogeneración de energía y calor (Natural gas, burned in cogen 160kWe Jakobsberg/CH U). En este escenario, se simula un escalamiento de tecnología con recuperación adicional de calor. Sin embargo, nótese que se origina una doble contabilidad de agua para el proceso de combustión en turbina. Ello explicaría el incremento del agua consumida.

A continuación se muestran las principales variaciones en los valores de agua consumida e impactos originadas en el consumo indirecto cuando se aplican los diferentes escenarios (tabla 17):

Línea Base: Natural gas, high pressure, at consumer/RER U (+EMISIONES)

Agua consumida (m3)			Punto medio (WIIX) (m3 eq WIIX)			Salud humana (daly)			Calidad de los ecosistemas (pdf m2/año)		
1.42E-04	86%	100%	1.15E-06	65%	100%	5.75E-08	100%	100%	1.97E-04	65%	100%



Escenario 1: Natural gas, burned in gas motor, for storage/GLO U

Agua consumida (m3)			Punto medio (WIIX) (m3 eq WIIX)			Salud humana (daly)			Calidad de los ecosistemas (pdf m2/año)		
1.29E-04	85%	91%	9.96E-07	61%	87%	5.20E-08	100%	90%	1.59E-04	60%	81%

Escenario 2: Natural gas, burned in cogen 160kWe Jakobsberg/CH U

Agua consumida (m3)			Punto medio (WIIX) (m3 eq WIIX)			Salud humana (daly)			Calidad de los ecosistemas (pdf m2/año)		
2.01E-04	90%	141%	1.98E-06	76%	173%	1.05E-07	100%	182%	4.00E-04	79%	203%

Tabla 17. Análisis de Sensibilidad

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	



En el primer escenario, los valores de agua consumida e impactos se reducen en un rango de 9%-19%. En el segundo escenario, los valores de agua consumida e impactos se incrementan en un orden de 41% - 103%, probablemente por la doble contabilidad sugerida en el párrafo anterior.

Los resultados obtenidos ratifican la importancia general del gas natural como el mayor aportante al consumo e impactos de huella hídrica. En los diferentes escenarios, la importancia del gas por sobre los consumos directos e indirectos oscila entre el 86% y 90% al analizar agua consumida, entre el 61% y 76% al analizar impacto hídrico WIIX y entre el 60% y 79% al analizar impacto en ecosistemas. En el análisis de impacto en salud humana, no se registra variación significativa.

5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los resultados presentados están limitados a los objetivos y alcances mencionados en este reporte. Las principales limitaciones en los resultados presentados son:

- El estudio no incluye las fases de transformación de voltaje de energía ni su conducción o distribución. De la literatura revisada, se ha identificado que los consumos e impactos más importantes se encuentran en la fase de producción, por lo que se han desestimado las fases posteriores a la generación. Tampoco se ha considerado el consumo e impactos generados por la infraestructura, pues de la literatura revisada su aporte no es significativo. (MEKONNEN, Mesfin y otros, 2015, The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment)
- El grado de incertidumbre es media en el análisis de los consumos indirectos, debido a que los procesos de producción usados como referencia (Dataset de Ecoinvent/Quantis) no son particulares de Perú. Para mitigar esta limitación, se ha utilizado el factor WSI (Pfister, 2011) para regionalizar los impactos potenciales por disponibilidad de agua: WIIX, salud humana y ecosistemas.
- Al existir un sistema de enfriamiento de ciclo cerrado, los consumos de agua son reposiciones de agua por pérdida o evaporación; por ello, no se consideran impactos térmicos por vertimientos.
- La precisión de los datos de referencia es buena en todos los casos, con excepción de los usos directos, donde la información fue inferida a partir de la capacidad de producción de los pozos de agua, los sistemas de bombeo y sus horas de funcionamiento.
- Para la elección de los insumos en la cadena de suministros se ha realizado la “asignación por importancia de porcentaje en costos”, la cual considera la cantidad de los productos por el costo unitario, aquellos que superen el 2% de importancia se consideran en la matriz de cálculo. Por ello solo se ha considerado como único suministro el gas natural.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

- No se ha considerado los insumos para el mantenimiento de los equipos y maquinarias existentes en la planta de producción ya que no superaron el 2% de importancia en la asignación por importancia de porcentajes en costos.
- En campamentos no se ha incluido el uso de materiales o equipos de oficina porque no superaron el 2% de importancia en la asignación por importancia de porcentajes en costos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



La CTA, se encuentra en un lugar con bajo indicador de escasez hídrica acorde a Pfister et al. (2009). El WSI del lugar tiene un valor de 0.0104 y se ubica en la región amazónica. El WSI estima el estrés hídrico asociado al suministro y la demanda de agua en una zona determinada. La magnitud del WSI de la zona donde se encuentra la CTA, indica que el riesgo de agotamiento es mínimo.

Los resultados muestran que los mayores consumos de agua e impactos se relacionan a la cadena de suministro, específicamente al uso del gas natural, insumo elemental para la producción de energía eléctrica en la CTA. Además, el análisis de sensibilidad mostró que al utilizar procesos diferentes (otras opciones o tecnologías en la generación eléctrica) la evaluación no varía sustancialmente en sus principales conclusiones.

Del análisis de huella hídrica se pudo identificar la importancia de la gestión del recurso hídrico de uso directo, pues cobra importancia cuando se analizan los impactos de WIIX y de calidad de ecosistemas. Ello refuerza la necesidad de contar con instrumentos de medida y control de cantidad y calidad de agua de entrada y salida dentro de CTA, tanto los usos domésticos como los industriales. Esta información hubiera sido invisible si solo se analizaban los consumos de agua sin considerar sus impactos asociados.



Las principales recomendaciones son:

- Implementar iniciativas de eficiencia energética para incrementar la eficiencia del uso de agua en la producción de energía eléctrica. Ello impactará significativamente en la reducción de la huella hídrica. Ello incluye desde mejoras en el proceso de combustión hasta la implementación de un proceso de ciclo combinado o de cogeneración.
- Respecto al gas natural, al ser un insumo cuya producción y transporte están relacionadas a Duke Energy Perú a través de otra unidad de producción, se recomienda desarrollar estudios complementarios para evaluar la huella hídrica de este insumo específico e identificar acciones de reducción de sus consumos e impactos en dicha unidad operativa (Aguaytía Energy del Perú S.R.L.).
- El mayor énfasis para reducir los impactos por uso directo de agua deben direccionarse a la mejora de la calidad del agua residual vertida, que es proveniente del uso doméstico. La

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	



principal estrategia para reducir el índice de impacto hídrico es incrementar la eficiencia de la PTAR, incluso más allá de cumplir solamente la normatividad nacional.

- Se ha identificado una oportunidad de reducción de usos directos de agua en lo productivo. El sistema cerrado de enfriamiento tiene pérdidas evaporativas que pueden eliminarse si se controlan las máximas temperaturas de funcionamiento de las turbinas de gas. Estos impactos serán menores en la huella hídrica pero podrían implementarse en el corto plazo.
- Implementar un sistema de control de usos de agua (caudalímetros) en aquellas áreas donde la información de usos ha sido estimada solo como referencial.
- Fomentar y desarrollar proyectos de mejora continua PMC relacionados a agua. Evaluar la posibilidad de utilizar agua de lluvia para el sistema contra incendios y/o para usos domésticos de aguas grises.
- El consumo de agua que no se puede reducir se puede abordar desarrollando proyectos de compensación en la cuenca de influencia del estudio. El propósito de los proyectos de compensación debe dirigirse a un uso mejor y más equitativo del recurso hídrico por parte de otros actores de la cuenca, abordando temas como suministro, purificación y conservación del agua, para ayudar a un desarrollo sostenible en la cuenca donde son ejecutados.

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición	Unidad Funcional	
	2013	kWh de energía eléctrica	001	

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Hoekstra A., Chapagain A., Aldaya M., Mekonnen M.** *The Water Footprint Assessment Manual, setting the global standard.* London Washington, DC : earthscan, 2011
- **Doka G.,** *Life Cycle Inventories of Waste treatment services, ecoinvent report N° 13, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dubenfort, December 2007.*
- **Hischier R.** *Life Cycle Inventories of Packagin and Grafical Papers, Ecoinvent Report N° 11, Swiss centre for Life Cycle Inventories. Dubendorf, 2007.*
- **Boulay et al.** 2011 Categorizing water for LCA inventory.
- **Rosenbaum R., et al.** *USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment [Journal] // International Journal of Life Cycle Assessment. - 2008.*
- **ISO 14040:2006.** *Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. 2006.*
- **ISO 14044:2006.** *Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. 2006.*
- **ISO 14046.** *Environmental management - Water footprint — Principles, requirements and guidelines*
- **COSUDE. 2013.** *Resultados de la evaluación de la huella hídrica para el proyecto SuizAgua Colombia Fase I.* Bogotá : s.n., 2013.
- **MEKONNEN,** Mesfin y otros. *The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment.* 2015
- **Pfister S., Koehler A. and Hellweg** *Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2009. - 11: Vol. 43. - pp. 4098-4104.*
- **Hanafiah Maria [et al.]** *Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction [Journal] // Environmental Science & Technology. - Zurich : [s.n.], May 16, 2011. - 12 : Vol. 45. - pp. 5272-5278.*
- **Goedkoop M. J [et al.],** *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level [Online] // Report I: Characterization. - January 6, 2009. - First edition. - http://www.lcia-recipe.net.*
- **Kounina [et al.]** *Review of methods addressing freshwater resources in life cycle inventory and impact assessment. [Publicación periódica] // International Journal of life cycle assessment (submitted). - 2011. - Anna Kounina; Manuele Margni; Annette Koehler; Jean-Baptiste Bayart; Anne-Marie Boulay; Markus Berger; Cecile Bulle; Rolf Frischknecht; Llorenç Mila-i-Canals; Masaharu Motoshita; Montserrat Nunez; Gregory Peters; Stephan Pfister.*

	ANÁLISIS DE HUELLA HÍDRICA ACORDE A LA NORMA ISO 14046			
	CENTRAL TEMOELÉCTRICA AGUAYTÍA	Año de medición 2013	Unidad Funcional kWh de energía eléctrica	

- **Van Zelm R. [et al.]** *Implementing Groundwater Extraction in Life Cycle Impact Assessment: Characterization Factors Based on Plant Species Richness for the Netherlands.* *Environmental Science & Technology* 45: 629-635, 2011.
- **Verones F. [et al.]** Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments. *Environmental Science & Technology* 44: 9364-9369, 2010. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21069953>.
- **Nemececk [et al.]** *Methods of assessment of direct field emission for LCI of agricultural production systems Data v3.0 (2012)*
- **Bayart Jean-Baptiste [et al.]** *A framework for assessing off - stream water in LCA [Journal] // The International Journal of Life Cycle Assessment. - 2010. - pp. 439-453.*
- **Jolliet O. [et al.]** *IMPACT 2002+: A new life Cycle Impact Assessment Methodology [Journal] Environmental Journal of Life Cycle Assessment – 2003.- 6: Vol 8-pp. 324 - 330*

Critical Review Report

Date: **14 November 2015**
Reviewer (Internal independent expert): **Xavier Bengoa**
Quantis
EPFL Innovation Park, Bat D, 1015 Lausanne, Switzerland
+41 21 693 91 93
xavier.bengoa@quantis-intl.com

Study commissioner: **Duke Energy**
Study practitioner: Alejandro Conza (aconza@agualimpia.org), Rony Laura (rlaura@agualimpia.org).

Title of the study and version of the report (date if relevant): **Análisis de Huella Hídrica en la Central Termoeléctrica “Aguaytía” acorde a la norma ISO 14046**

This critical review was done based on the final report of the water footprint study, according to ISO 14'046. The water footprint study was realized by the practitioner with the scientific support of Quantis team along the study. Quantis ensured the relevance of the goal and scope, inventory, impact assessment and interpretation of the water footprint study.

I ensure that I, Xavier Bengoa, was not involved directly in the water footprint study realization and neither in the scientific support to the practitioner. I am an internal independent expert according to the definition of the critical review norm ISO 14'071. The critical review process ensured that:

- The methods used to carry out the LCA are consistent with ISO 14'046
- The methods used to carry out the LCA are scientifically and technically valid
- The data used are appropriate and reasonable in relation to the goal of the study
- The interpretations reflect the limitations identified and the goal of the study
- The study report is transparent and consistent

The answers and adaptations made in the report by the study practitioner were adequate and accepted by the reviewer.

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
1	General	Page numbers are missing	Please add	Page numbers added
2	Summary (General results ; Conclusions and recommendations)	In several place, it is mentioned that the main contributor to the different impact indicators is “the use of natural gas”, or simply “natural gas”. The use of natural gas (i.e. combustion) takes place at the thermoelectric plant, while the natural gas extraction and transport, also under CTA control, takes place at the “patio de gas”.	Please clarify that you are referring to the extraction (or production) and transport of natural gas, and not to its use (combustion).	The natural gas extraction site (Curimaná) is not part of CTA but is included in the supply chain (cadena de suministro) stage. In this study, the production and transportation of natural gas and its combustion emissions are considered in the same process. Clarifications added in the document.
3	Summary (Limitations)	It is not clear what is meant by “the production phase”? The extraction of natural gas or the production of electricity?	Explain	As production phase we are referring to the production of electricity
4	Abbreviations and acronyms	CTA, kWh and SA are missing	Add	Abbreviations and acronyms added
5	s. 2.2 (General description)	It is stated that CTA is located in an area with very low (or no) water stress, and 100% of water used is groundwater. The natural gas extraction site (patio de gas) is however located 150 km west of the thermoelectric plant, in Curimaná.	Clarify if the statements on water stress and sole use of groundwater apply to the thermoelectric plant only or to the natural gas extraction site as well.	The statements of water stress and water use apply to thermoelectric plant site, CTA. “Patio de gas” is a particular infrastructure inside CTA to control gas temperature and pressure, before entering to combustion. The natural gas extraction

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
				site (Curimaná) is not part of CTA but is included in the supply chain (cadena de suministro) stage. Curimaná is also located in a non water-stressed area.
6	s. 2.4 (System boundaries) & S. 2.7.2 (Data and assumptions)	<p>Why is natural gas considered in the supply chain, when it is extracted at the “patio de gas”?</p> <p>It is generally unclear in which life cycle stage(s) the extraction, transport and combustion of natural gas is accounted for. In section 2.7.2, it seems that all three are considered part of supply chain. In section 2.2 (general description), it is stated that the “patio de gas” is a sub-unit of CTA, and therefore part of the direct operations. In figure 1 (production processes), natural gas appears in the supply chain, but the “patio de gas” in the direct operations.</p>	Provide clear and consistent description of the system boundaries, especially what is part of the direct operations vs. supply chain with regards to natural gas extraction, transport and combustion.	<p>“Patio de gas” is part of CTA. It is a particular infrastructure to control gas temperature and pressure, before entering to combustion turbines.</p> <p>The natural gas extraction site (Curimaná) is not part of CTA but is included in the supply chain (cadena de suministro) stage.</p> <p>In this study, the production and transportation of natural gas and its combustion emissions are considered in the same process.</p>
7	s. 2.4 (System boundaries)	The caption of Figure 1 is unclear. This should display the system boundaries, differentiating between what is included in each stage and what is excluded from the boundaries.	Adapt and Rename Figure 1	Adapted and Renamed Figure 1

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
8	s. 2.5 (Allocation rules)	The thermoelectric plant produces both electricity and heat. What happens with the heat produced? Is it lost? Reused internally? Sold? If the heat is sold, it then becomes a co-product from CTA and allocation rules should be defined.	Explain how heat is treated (co-product or waste) and which allocation rules apply if relevant.	Heat is lost. Explained in s. 2.5
9	s. 2.7.3 (Data and assumptions), a. (Electricity)	In table 10, the largest share of electricity from the grid comes from “hidraulica de embalse” while the process used in the model is “electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U”, which would correspond to “hidraulica de pasada”. This error may influence the study results in relation to indirect uses of water.	Change “electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U” for “electricity, hydropower, at reservoir power plant, alpine region /RER U” or “electricity, hydropower, at reservoir power plant, non-alpine region /RER U” depending on the typical characteristics of reservoir power plants in Peru.	The process used is electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U. (It was a text mistake)
10	3.1 (Direct water balance)	The difference between calculated water consumed and available data from Mekonnen et al. 2015 is explained by the cooling system (air-water, closed loop). What about the yield of the thermoelectric plant? Are these comparable? Could it be that direct water consumption at CTA is underestimated (see last review comment)?	Analyse further differences between Mekonnen et al. 2015 and calculated water consumption.	Yield of the thermoelectric plant is low, because it is a simple cycle plant. Increasing the yield would mean even less water consumed per kWh.
11	3.2 (Water consumption)	There is some confusion in what is considered as part of the supply chain and what is part of CTA’s direct operations. We	Distinguish natural gas extraction/transport and combustion, and consider	We are using a process that includes transport and production of natural gas,

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
		do not understand how the combustion of natural gas (i.e. the primary purpose of CTA) can be considered part of the supply chain. This statement also affects the way other results are displayed, such as impacts on human health. Also, figure 5 is not clear in distinguishing what are indirect uses related to energy and transport vs. indirect uses related to the supply chain, especially when the supply chain consists solely of natural gas.	renaming sub-stages in a more transparent way	both outside CTA. We can't split them. Inside CTA we do combustion, all water consumption for combustion is identified in the assessment as direct use. So, as we only miss the emissions, we include them in the natural gas process.
12	3.2 (Water consumption)	Figure 7 is useless	Split between extraction and transport. Combustion should not be part of the supply chain.	We have used a process that includes transport and production. We can't split this information. We maintain figure 7 for order, but changing the title.
13	3.2 (Water consumption)	Statement that other inputs than natural gas are not representative compared to natural gas: reference to section 2.5 is wrong. No such explanation is provided in section 2.5. Justification for exclusion from the system boundaries is provided in section 2.4 (cut-off criteria).	Rephrase	Rephrased

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
14	3.3.1 (WIIX)	Statement: “Duke Energy se encuentra en una zona con bajo estrés hídrico (número de Pfister, WSI de 0.0104)”: Duke Energy as a corporation cannot be located in this single zone with low water stress. We assume you mean “CTA se encuentra...”. It is also not clear if both the CTA thermoelectric plant and the patio de gas are located in the same zone.	Rephrase and further explain.	Rephrased, “CTA” instead of “Duke Energy”. “Patio de gas” is part of CTA. CTA location has a WSI of 0.0104, according to Pfister (Google Earth reference). The natural gas extraction site (Curimaná) is not part of CTA but is included in the supply chain (cadena de suministro) stage. However, Curimaná location has also a WSI of 0.0104.
15	3.3.1 (WIIX)	Figure 9 is not clear in distinguishing what are indirect uses related to energy and transport vs. indirect uses related to the supply chain, especially when the supply chain consists solely of natural gas.	Clarify and consider renaming sub-stages in a more transparent way	Sub-stages renamed
16	4.4 (Sensitivity analysis)	Table 17 is unclear: caption is not self-explanatory, units are missing, meaning of each column for every impact category is missing, where is the baseline scenario?	Review table	Table reviewed and redesigned for better understanding.
17	4.4 (Sensitivity analysis)	No explanation is provided as why consumed water for the cogeneration process are	Explain differences between scenarios 1 and 2 and the baseline	Explanation added “El proceso base considera

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
		higher than those calculated for CTA	scenario.	<p>el gas como insumo y, adicionalmente, sus emisiones luego de la combustión. Los consumos de agua directos e indirectos del proceso de combustión no se incluyen, pues forman parte del propio estudio y ha sido el objetivo del mismo determinarlos para el caso de CTA”.</p> <p>“Para un primer escenario.....En este escenario, se simula un cambio de tecnología de combustión: motor por turbina.”</p> <p>“En el segundo escenario.....En este escenario, se simula un escalamiento de tecnología con recuperación adicional de calor. Sin embargo, nótese que se origina una doble contabilidad de agua para el proceso de combustión en turbina. Ello explicaría el incremento del agua consumida.</p>

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
				<p>En el primer escenario, los valores de agua consumida e impactos se reducen en un rango de 9%-19%. En el segundo escenario, los valores de agua consumida e impactos se incrementan en un orden de 41% - 103%, probablemente por la doble contabilidad sugerida en el párrafo anterior.</p> <p>Los resultados obtenidos ratifican la importancia general del gas natural como el mayor aportante al consumo e impactos de huella hídrica.”</p>
18	4.5 (Study limitations)	It is stated that regionalization factors were used to adapt data from ecoinvent / Quantis Water Database. Which are these factors? To which extend does the adaptation improve the overall quality/reliability of the study?	Explain	Explanation added “Para mitigar esta limitación, se ha utilizado el factor WSI (Pfister, 2011) para regionalizar los impactos potenciales por disponibilidad de agua: WIIX, salud humana y ecosistemas.”

#	Position	Reviewer comment	Reviewer recommendation	Response from the practitioner
19	4.5 (Study limitations)	Data of poor quality is used for direct water consumption. This is a new statement that does not appear in section 2.9 (data quality assessment). This is however what differentiates the current study with the results from Mekonnen et al. 2015 with regards to water consumption.	Further explanation on whether the lack of good quality data for direct water consumption may affect (and underestimate) the total water consumption should be provided. This statement should also appear in section and be explained in section 2.9.	Data for direct water use (not consumption, that was a text mistake in 4.5) is considered medium quality, because it is not obtained directly from a water meter. However, the calculation is obtained from primary data source (hours of function and designed flow), and then it is reliable. We don't consider that this would mean any difference in water consumption.