

Aprovechamiento energético sostenible de un recurso geotermal: caso sala de dosificación de la Planta Luis Prieto Gómez

Sustainable Energy Use of a Geothermal Resource: The Case of the Luis Prieto Gómez Plant Dosing Room

Beatriz Eugenia Ospina Betancur^{id}*¹, **Walter Murillo Arango**^{id}²

¹Ingeniera Ambiental y Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales (Manizales, Colombia), ²Centro de investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD). Universidad de Manizales. E-mail: wmurillo@umanizales.edu.co

*Correspondence e-mail: ytteb1992@hotmail.com

Recibido: 27/08/2020. Modificado: 10/08/2021. Aceptado: 29/09/2021.

Abstract

Context: Water treatment as an industrial process requires energy for its operation, so, in order to supply the electrical energy that requires the heating of the room in which the dosing process of chemical products is performed, the exploration of alternative energies was proposed through the determination of the environmental and financial viability of a heating system, which uses the heat of the thermal water from the Nevado del Ruiz volcano that reaches the Luis Prieto Gómez Plant.

Method: A mixed type research was conducted by means of a field study to characterize the context of its use, a specialized advice to determine the heating system, and a bibliographic review to perform the financial analysis by cash flow, the environmental analysis by carbon footprint, and the sustainability of the proposal.

Results: The context of the heat use was determined, and the thermal load required inside the room was characterized. Based on this characterization, it was established that a circuit system of tubular heat exchangers generated operational viability with an economic saving projection of 78 %, in comparison with a conventional system and a reduction of environmental impacts represented by a decrease of 3,25 annual tons of CO₂ emitted into the atmosphere.

Conclusions: The incorporation of energy sustainability for the generation of operating conditions for water treatment was achieved, starting from the conception of the use of thermal water as a renewable resource, together with the production of heat through a closed lifecycle, thus demonstrating a dialogue between the economic, environmental, and social spheres as required by sustainable development.

Keywords: carbon footprint, environmental sustainability, thermal load, thermal water, heating

Language: Spanish

Open access



Cite as: Ospina, B. E., Murillo, W. "Aprovechamiento energético sostenible de un recurso geotermal: caso sala de dosificación de la Planta Luis Prieto Gómez". *Ing*, vol. 27, no. 1, 2022. e16913.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<https://doi.org/10.14483/23448393.16913>

Resumen

Contexto: La potabilización de agua como proceso industrial demanda energía para su operación, así que con el fin de suplir la energía eléctrica que requiere la calefacción del ambiente de la sala en la que se realiza la dosificación de productos químicos, se exploró la matriz energética no convencional mediante la determinación de la viabilidad ambiental y financiera de un sistema de calefacción sostenible que aprovechara el calor del agua termal que llega a la Planta Luis Prieto Gómez proveniente del Volcán Nevado del Ruiz.

Método: Se realizó una investigación de tipo mixto mediante un diseño de campo para caracterizar el contexto del aprovechamiento, una asesoría especializada para determinar el sistema de calefacción y una revisión bibliográfica para abordar el análisis financiero por flujo de caja, el análisis ambiental por huella de carbono y la sostenibilidad de la propuesta.

Resultados: Se determinó el contexto del aprovechamiento del calor y se caracterizó la carga térmica requerida al interior de la sala, con lo cual se estableció que un sistema de intercambiadores de calor tubulares generaba la viabilidad operativa, con una proyección de ahorro económico de un 78 % frente a un sistema convencional y una reducción de impactos ambientales representados en 3,25 toneladas de CO₂ menos emitidas a la atmósfera anualmente.

Conclusiones: Se respondió a la incorporación de la sostenibilidad energética para la generación de las condiciones operativas dentro de la producción de agua potable en la planta, partiendo desde la concepción del uso del agua termal como recurso renovable, sumado a la producción de calor por medio de un ciclo de vida cerrado, demostrando un diálogo entre las esferas económica, ambiental y social como lo requiere el desarrollo sostenible.

Palabras clave: huella de carbono, sostenibilidad ambiental, carga térmica, agua termal, calefacción

Idioma: Español

1. Introducción

Dentro de los problemas ambientales actuales más importantes se encuentra la sobreexplotación de recursos con el fin de obtener energía eléctrica, la cual es el principal motor de la economía y de la sociedad y por tanto demanda cantidades extraordinarias para satisfacer las necesidades de la población. Es así que a partir de esta problemática surge la iniciativa de la exploración de la matriz de energía no convencional para satisfacer una demanda industrial que produce uno de los elementos vitales para una población como lo es el agua potable.

La planta de tratamiento de agua Luis Prieto Gómez ubicada en el departamento de Caldas (Colombia) abastece al 70 % de la población del municipio de Manizales, generando un aproximado de 2.000.000 de metros cúbicos de agua potable al mes, siendo así la principal planta de la empresa Aguas de Manizales S.A. E.S.P. [1]. El proceso productivo del agua potable como todo proceso industrial demanda energía para su transformación, en este caso, especialmente los subprocesos de coagulación, floculación y estabilización del pH. Dentro de la coagulación y la estabilización del pH se encuentra la dosificación de productos químicos, la cual debe realizarse en condiciones ambientales apropiadas para el buen funcionamiento de los equipos dosificadores y de los productos que se adicionan al agua, pero por la ubicación de la Planta Luis Prieto en zona de temperaturas bajas en promedio de 15 °C y humedades altas, del 90 % en promedio, se generan condiciones que no son óptimas para la dosificación correcta de los químicos, generando problemas operativos de incrustación del material en los sistemas dosificadores.

La energía geotérmica se define como “el calor que se produce en el interior de la tierra y es transferido a la superficie” [2, p. 7]. Es considerada una de las alternativas más viables para la sustitución de las energías convencionales gracias a que “el potencial geotérmico almacenado en los diez kilómetros exteriores de la corteza terrestre supera en 2.000 veces a las reservas mundiales de carbón” [3, p. 39]. Esta energía se encuentra acumulada en el núcleo de la tierra y emerge a la superficie por las fracturas geológicas, principalmente en volcanes y pozos de agua termal. “Los países con mayores recursos, en orden de importancia, son China, Estados Unidos, Canadá, Indonesia, Perú y México” [3, p. 39] y se han explotado mayormente en países con pocos recursos hidráulicos para generación de energía y con estaciones climáticas para el acondicionamiento de temperaturas de espacios.

La energía geotermal ha sido aprovechada desde épocas antiguas en diferentes formas, por ejemplo para fines eléctricos: en 1919 en Japón se perforaron los primeros pozos geotermales en Beppu, seguidos en el año 1921 por pozos perforados en The Geysir, California, y en el Tatio, Chile; igualmente Italia fue uno de los países pioneros en el aprovechamiento para energía eléctrica, en el año 1942 la capacidad geo-termoeléctrica instalada alcanzaba los 127.650 KW. Posterior a esto, en 1958 entra en operación una pequeña planta geo-termoeléctrica en Nueva Zelanda, en 1959 otra en México y en 1960 en Estados Unidos [4, p. 5].

En lo que se refiere a usos no eléctricos, en el año 2000 se reportó una capacidad instalada de 15.135 MWt y una energía utilizada de 199.699 TJ/año, siendo 58 países los reportados con usos directos [4, p. 7]. Como lo exponen Lund y Freeston, “El uso no eléctrico más común en el mundo (en términos de capacidad instalada) corresponden a bombas de calor (34,80 %), seguido de baños (26,20 %), calefacción (21,62 %), invernaderos (8,22 %), acuicultura (3,93 %) y procesos industriales (3,13 %)” [4, p. 7]. El potencial energético de las aguas termales depende del perfil de temperatura, por ejemplo los sistemas de calefacción permiten intervalos de temperatura muy amplios, pudiendo ser aprovechados recursos con bajas y altas entalpías. Los sistemas de baja entalpía se ubican en el intervalo de “temperaturas entre los 10 y 30 °C con profundidades de 2 metros” [5, p. 49], hasta los 300 metros si mantiene estabilidad térmica a lo largo del perfil.

Colombia se encuentra dentro de los países con un lento desarrollo en el campo geotérmico y no cuenta con proyectos de generación de energía por medio de este recurso; a pesar que en los años 70 se realizaron estudios sobre potencial geotérmico nacional, solo se explotan estos recursos con fines recreativos en balnearios. Los motivos principales por los cuales se explica el poco avance de este campo en el país son los costos elevados en los estudios de exploración y modelación, el limitado acceso a las zonas con potencial geotérmico, ya que se ubican en zonas volcánicas, la poca normativa que respalda las iniciativas de aprovechamiento y la falta de mecanismos de regulación de este tipo de energía en el mercado [2, pp. 31-32].

A pesar de esto, en el país se han despertado intereses investigativos y de ejecución como el del proyecto piloto de cuarto frío desarrollado en 2017 por la empresa SAGG S.A.S., en el cual se realizó de manera exitosa la refrigeración de un cuarto de 90 m³ a partir de un recurso geotermal de baja entalpía para cubrir la demanda de 14 kW [6]. Por su parte, la Asociación Geotérmica de Colombia representada en la Reunión Nacional de Geotermia, celebrada en la última ocasión en el año 2018 en Bogotá, sirve como punto de encuentro para este trabajo [7]. Lo anterior permite

visualizar que a pesar de las dificultades evidenciadas, la construcción de futuro para la geotermia en el territorio nacional es posible, con entes conformados que respaldan las iniciativas investigativas de este tipo en todos los campos de aprovechamiento, pasando del escenario recreativo al de obtención de energía en todas sus formas a partir del abundante recurso.

Reuniendo lo expuesto, como alternativa se planteó la adecuación de la sala de dosificación a condiciones climáticas óptimas, a partir del aprovechamiento del recurso termal que llega actualmente a la planta, con fines de uso químico para la coagulación del agua, pero sus propiedades físicas están siendo desaprovechadas y liberadas a la atmósfera. Es así que se propone la evaluación operativa, financiera y ambiental del uso del calor del agua termal para la climatización de la sala de dosificación, mediante un sistema de calefacción que responda a las necesidades de los procesos productivos de una manera sostenible, a partir de un recurso renovable brindado por el Volcán Nevado del Ruiz, frente a un sistema convencional de calefacción, todo en el marco del desarrollo sostenible.

2. Materiales y métodos

2.1. Estudio de campo

El estudio de campo se desarrolló en la Planta de Tratamiento Luis Prieto Gómez ubicada en el municipio de Villamaría (Caldas). En la Figura 1 se presenta una vista general de la PTAP y su ubicación espacial específica y en la Figura 2 se muestra un mapa geológico de la zona de influencia, tanto de la planta como del afloramiento termal que es usado en el proceso de potabilización del agua.

La fase inicial de investigación se planteó de tipo experimental cuantitativa con recolección directa mediante medición de las variables de temperatura de agua termal, temperatura ambiente, temperatura de la sala de dosificación, y humedad relativa de ambiente y de la sala, a través de los equipos de medición, tanto para el punto de llegada del agua termal (punto 1 en la Figura 3) como para la sala de dosificación (punto 3 en la Figura 3), los cuales fueron construidos de manera propia; estos equipos tuvieron un proceso de verificación de error en la lectura para establecer la confiabilidad de los datos. Los equipos construidos e instalados fueron un medidor de temperatura sumergible para el agua termal y un equipo termohigrómetro para medición de temperatura y humedad dentro de la sala de dosificación; la medición de la temperatura y la humedad ambiente se obtuvo a partir de la estación hidrometeorológica de la quebrada Cajones propiedad de Aguas de Manizales S.A. E.S.P. Los datos recolectados se consignaron en una matriz de caracterización para tratamiento estadístico básico por valores máximos, mínimos y promedios por medio del programa Microsoft Excel.

2.2. Oferta y demanda calórica

Para garantizar la temperatura óptima de dosificación de los productos químicos se realizó la caracterización estructural la sala de dosificación, mediante revisión de planos, ubicación y linderos, así como determinación de materiales constructivos, los cuales inciden en el balance de materia y energía del aire de la sala y por tanto en el comportamiento de la temperatura interna; esta ca-



Figura 1. Ubicación geográfica de la Planta Luis Prieto Gómez

Fuente: elaboración propia adaptada de [8].

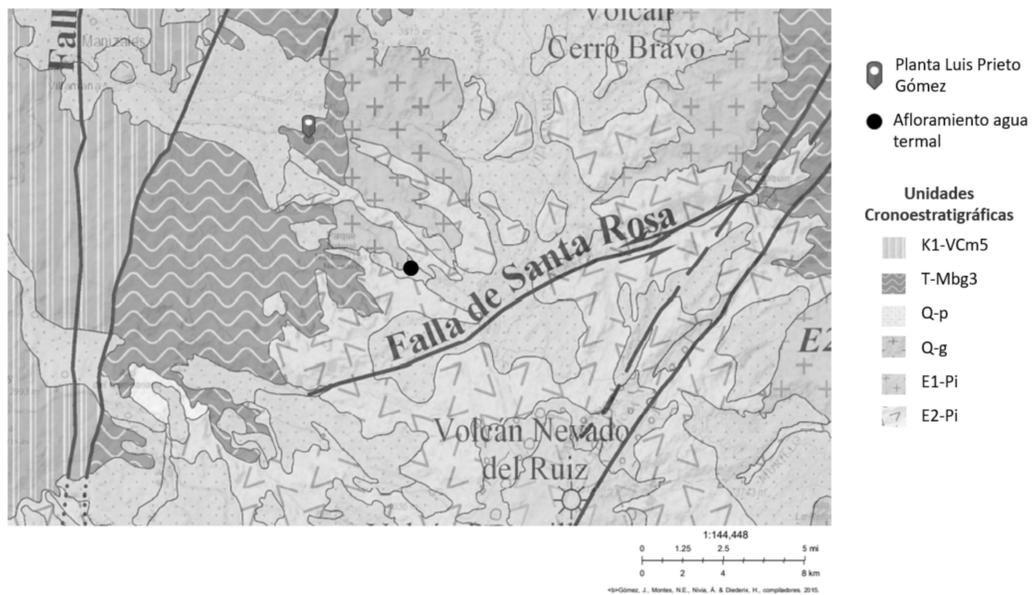


Figura 2. Mapa geológico de la zona de influencia de la Planta Luis Prieto Gómez y del afloramiento termal

Fuente: elaboración propia adaptada de [9].



Figura 3. Ubicación de puntos críticos en el estudio de campo: 1. Punto de llegada de agua termal, 2. Punto de aprovechamiento químico del agua termal, 3. Sala de dosificación de productos químicos y la línea punteada la conducción existente del agua termal

racterización se utilizó para calcular la carga térmica total requerida para obtener las condiciones óptimas de dosificación de los productos sólidos, siendo una temperatura de 21 °C y una humedad relativa de 50 %, según recomendaciones de los fabricantes de los químicos, así como para evitar condensación en paredes.

El cálculo de la carga térmica partió con la caracterización del recinto mediante una modelación en 3D en el software IFC Builder del edificio de operación completo; el modelo se exportó al software Cypetherms Loads [10], en el cual se definieron los materiales constructivos del edificio para obtener la conductividad de los diferentes componentes y por medio del método de cálculo MSTR (Series Temporales Radiantes) [11], de la ASHRAE (Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado), se calculó la carga térmica de la sala de dosificación, definida por la Ecuación (1).

$$Q = q = U \cdot A \cdot (t_i - t_o) \quad (1)$$

Donde:

Q : Carga sensible de calefacción (W)

q : Pérdida de calor (w)

U : Coeficiente de transmisión térmica global del hueco ($\frac{W}{m^2K}$)

A : Área del hueco (ventana o puerta) incluyendo el marco (m^2)

t_i : Temperatura interior del recinto (°C)

t_o : Temperatura seca exterior (°C)

Con el perfil de temperatura del recurso geotermal como oferta calorífica y las necesidades de temperatura ambiente a partir de la caracterización estructural de la sala de dosificación como

demanda de calor, se procedió a realizar la búsqueda comercial del sistema de aprovechamiento del calor del agua termal que cumpliera los requerimientos. Los parámetros que se convirtieron en el insumo para la elección del sistema fueron los resultados obtenidos en la carga térmica del software Cypetherms Loads.

2.3. Estudio financiero y ambiental

Con los sistemas de generación y distribución determinados se realizó la valoración económica del escenario en pesos colombianos, esta se llevó a cabo analizando el flujo de caja mediante la Ecuación (2).

$$\text{Flujo de caja} = -\text{Inversión} + (\text{ingresos} - \text{egresos}) \quad (2)$$

El modelo de flujo de caja asoció los ingresos, los costos y la inversión inicial del proyecto de aprovechamiento energético en un periodo de un año, para el interés investigativo se tuvieron en cuenta como inversión inicial el valor de suministro e instalación de los sistemas de calefacción, como costos los valores de mantenimientos preventivos y de consumo energético de la red eléctrica para cada sistema, y los ingresos se consideraron como cero, debido a que no fue un proyecto que planteara entradas monetarias.

Para determinar el valor por kilovatio de energía se calculó un promedio del cobro por la empresa de energía desde enero de 2019 hasta abril de 2020, obteniendo un valor de \$ 401,9. En cuanto al concepto de mantenimiento, se consideró el valor actual que el contratista de la empresa demanda para realizar las visitas preventivas de revisión de los sistemas de aire acondicionados en las diferentes sedes, siendo de \$ 76.700 + IVA por visita, dichas visitas están establecidas con una periodicidad trimestral.

Por último se realizó el análisis ambiental con el fin de determinar los impactos del sistema planteado por medio del cálculo de la huella de carbono expresada en las toneladas de CO₂ emitidas, comparado con un sistema de calefacción convencional, mediante la Ecuación (3), a partir de los consumos eléctricos que posee cada uno de los sistemas. El cálculo de la huella de carbono incorporó un valor del factor de emisión de CO₂ del SIN (Sistema Interconectado Nacional) establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética de 0,13 TCO₂/MWh [12, p. 20] para proyectos por consumo de energía eléctrica, es así que se consideraron los consumos de electricidad respectivos de cada sistema de calefacción como dato de actividad y el factor de emisión proyectado al año.

$$TCO_2 = DA \cdot FE \quad (3)$$

Donde:

TCO_2 : Toneladas de dióxido de carbono emitidas

DA : Datos de la actividad. Representa el consumo expresado en su contenido energético (MW)

FE : Factor de emisión $\frac{TCO_2}{MWh}$

3. Resultados

3.1. Estudio de campo

La recolección de datos se realizó durante los meses de noviembre y diciembre de 2019 y enero y febrero de 2020, abarcando en estos cuatro meses rangos de clima variados, con condiciones desfavorables de humedad alta y temperatura baja típicas en los meses de noviembre y diciembre y condiciones más favorables de temperaturas mayores en los meses de enero y febrero. Estos registros arrojaron un total de 22.080 datos, repartidos proporcionalmente para cada variable investigativa, con una frecuencia de 30 minutos cada una. A partir del registro de temperatura del agua termal que llega a la Planta Luis Prieto Gómez se caracterizó la fuente dentro de un contexto apto para el aprovechamiento en aplicaciones de climatización de ambientes, puesto que se obtuvo un valor más bajo en el mes de enero con 45,6 °C. Además con el valor máximo registrado durante todo el periodo en el mismo mes de enero de 51°C como se muestra en la Figura 4, se avaló al recurso con gran potencial de aprovechamiento en calefacción.

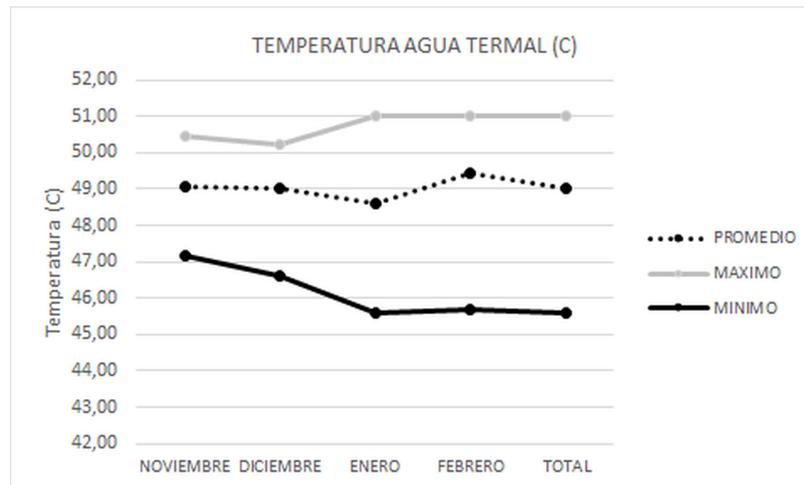


Figura 4. Temperatura mensual del recurso termal

En cuanto a la caracterización ambiental externa de la Planta Luis Prieto Gómez, se identificó la condición menos favorable en una temperatura de 7 °C en los meses de enero y febrero, y la más favorable igualmente en el mes de febrero con un registro de 26 °C, como se presenta en la Figura 5. La condición más favorable o menos favorable hizo alusión a la condición de temperatura y humedad más o menos cercana a la deseada para el comportamiento óptimo de los productos químicos y de los sistemas de dosificación en la sala. En promedio la temperatura ambiente registrada fue 15 °C, condición que afecta el comportamiento de los productos químicos.

La humedad relativa ambiental que se obtuvo en las mediciones denotó unas condiciones poco favorables durante el 90 % del tiempo registrado, con valores por encima del 80 % HR, lo que ratifica que el proceso productivo se encuentra sometido a variables climáticas condicionadas a la ubicación geográfica propia de la planta en un bosque de niebla. Como se ve en la Figura 6, en todos los meses se registraron valores del 100 % de humedad y el valor mínimo fue registrado en el mes de enero con 59 %. Los valores individuales de esta variable presentaron a noches y madrugadas

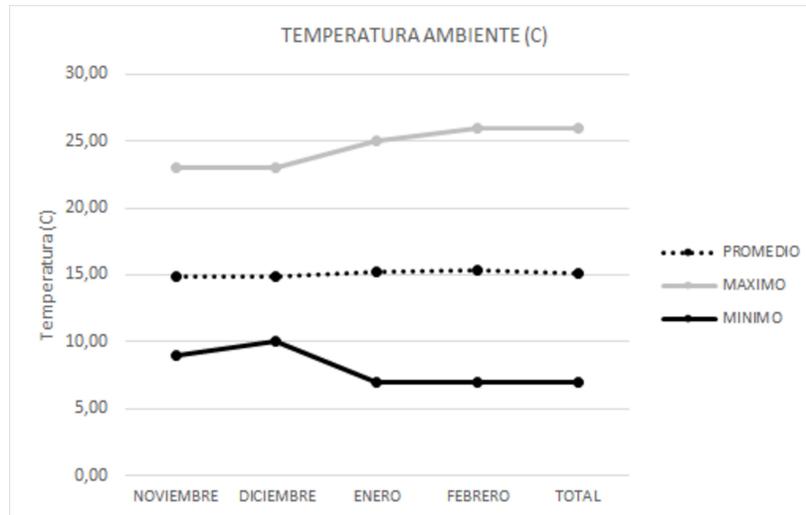


Figura 5. Temperatura mensual del ambiente

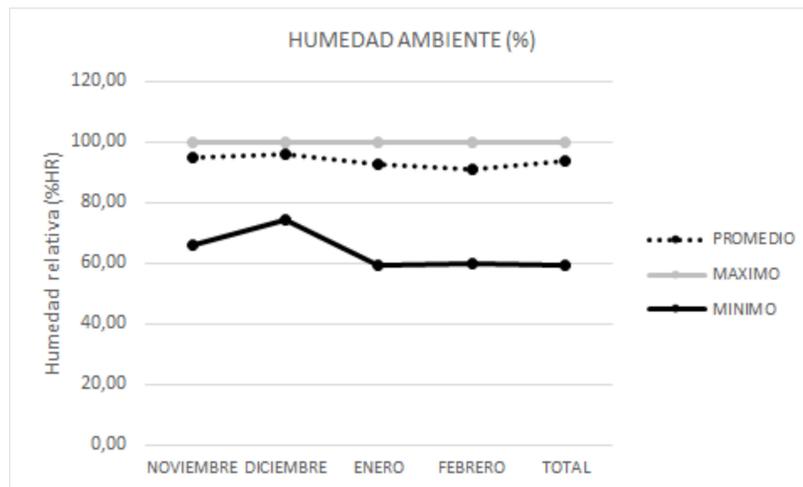


Figura 6. Humedad relativa mensual del ambiente

como los espacios horarios en los que se obtuvieron las peores condiciones de humedad ambiental en la planta, con valores cercanos al 100 % HR.

Pasando a la caracterización interna de la sala de dosificación de productos químicos, en la Figura 7 se evidencia que la temperatura mayor registrada se presentó en el mes de enero con 18,5 °C y la inferior en el mismo mes con un valor de 10,2 °C, asociada a una humedad relativa máxima de 93 % en los meses de enero y febrero, y una mínima de 78 % en el mes de enero como se muestra en la Figura 8, lo que confirmó la necesidad de acondicionamiento de la sala de dosificación en su temperatura y humedad interna para responder a las condiciones recomendadas en el manejo de productos químicos.

La caracterización ambiental interna y externa permitió establecer que las condiciones internas a pesar de encontrarse influenciadas por las condiciones climáticas externas poseen una dinámica propia, puesto que los muros de la envolvente de la sala crean una protección y un acondicionamien-

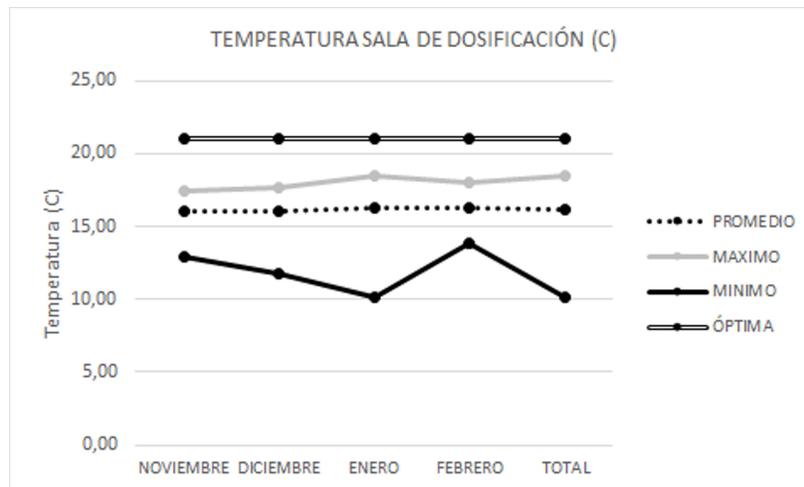


Figura 7. Temperatura mensual al interior de la sala

to al interior, registrando valores inferiores, con mayor estabilidad y favorabilidad en comparación con las condiciones exteriores como se muestra en las Figuras 9 y 10, en las cuales se evidencia que tanto la temperatura como la humedad externa presentaron cambios mayores en sus valores extremos, diferente a lo ocurrido dentro de la sala, donde los cambios fueron en menor medida extremos, manteniendo condiciones propias internas, lo cual favorece la demanda térmica, es decir, requiere menos demanda de calor para tener las condiciones de temperatura y humedad dentro del espacio.

A partir de los análisis estadísticos mensuales se realizó la caracterización final del contexto de calefacción, con lo cual se obtuvieron las condiciones más y menos favorables, tanto ambientalmente como al interior de la sala de dosificación, durante el periodo de medición, como se muestra en la Tabla I. Los datos recolectados evidenciaron que el 70 % del tiempo en el que se tomaron registros, la temperatura se encontró por debajo de los 20 °C y la humedad por encima del 60 %, lo que ratificó nuevamente la necesidad de acondicionamiento de la sala de dosificación cuando se presenten las variaciones de las condiciones óptimas para lograr un comportamiento eficiente en la dosificación de productos químicos.

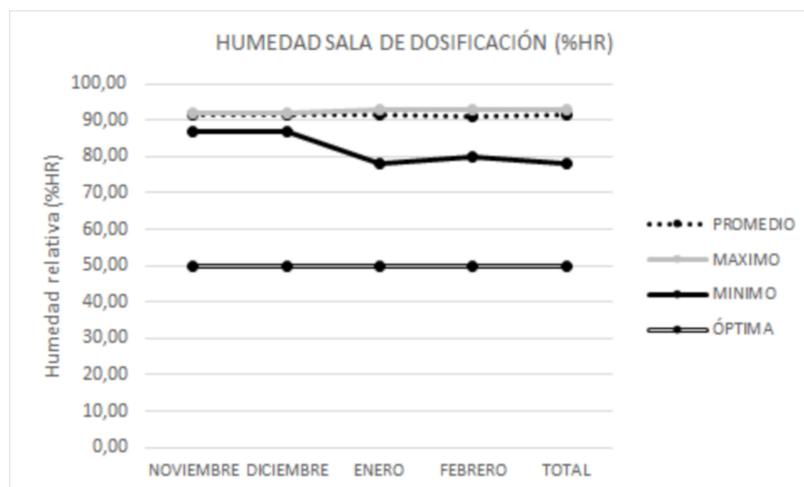


Figura 8. Humedad relativa mensual al interior de la sala

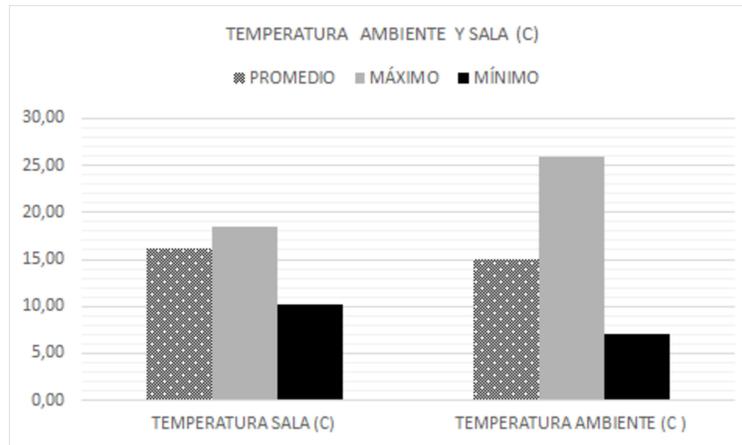


Figura 9. Variaciones en temperatura interna y externa

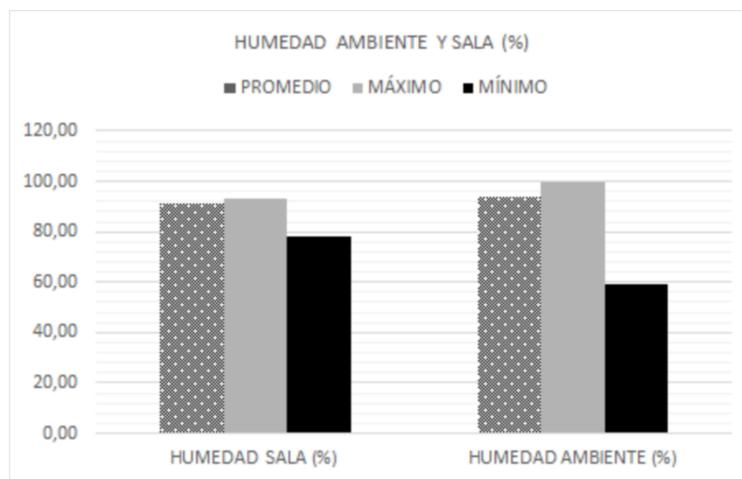


Figura 10. Variaciones en humedad interna y externa

Tabla I. Caracterización final del contexto de calefacción

PARÁMETROS FINALES DEL CONTEXTO DE CALEFACCIÓN					
	TEMPERATURA AGUA TERMAL (C)	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	HUMEDAD AMBIENTAL (%)	TEMPERATURA SALA (C)	HUMEDAD SALA (%)
PROMEDIO	49,04	15,08	93,51	16,19	91,44
MÁXIMO	51,00	26,00	100,00	18,50	93,00
MÍNIMO	45,60	7,00	59,00	10,20	78,00

Para el interés investigativo se consideraron las condiciones menos favorables como las temperaturas más bajas y las humedades relativas más altas dentro de la sala de dosificación como las más importantes, puesto que definen las características del sistema de aprovechamiento de calor, el cual debe cambiar esas condiciones desfavorables y llevarlas al rango óptimo. En consecuencia, se definió una temperatura de 10,2 °C y una humedad de 87 % como las condiciones críticas internas del sistema de generación de calor para la sala de dosificación de la Planta Luis Prieto Gómez y como condiciones críticas externas una temperatura de 7 °C y una humedad del 100 %, como se muestran en las Figuras 11 y 12, las cuales caracterizan finalmente el contexto actual para la demanda de la calefacción.

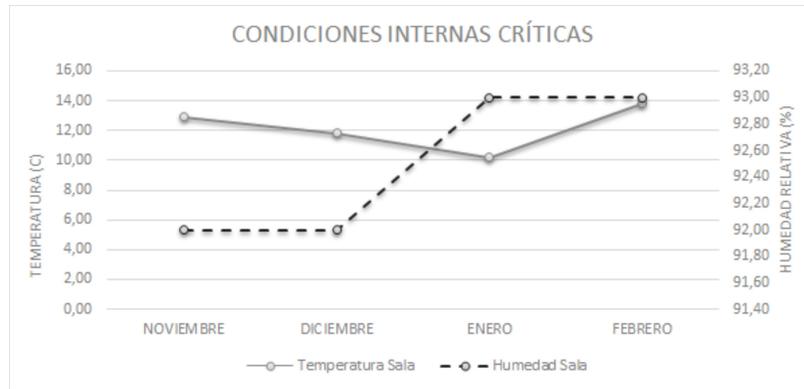


Figura 11. Condiciones críticas en la sala de dosificación

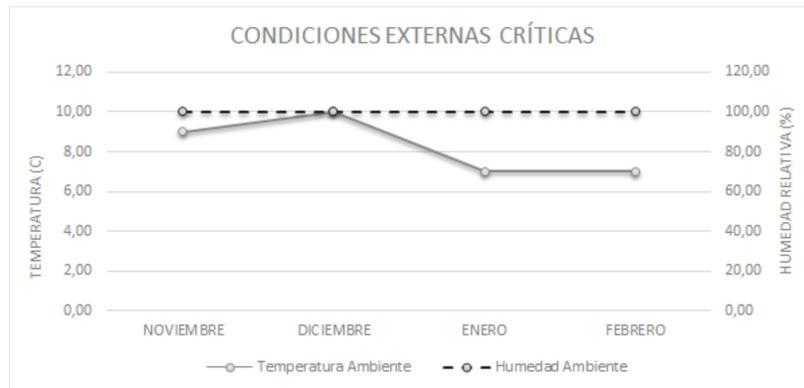


Figura 12. Condiciones críticas externas

3.2. Oferta y demanda calórica

3.2.1. Demanda calórica

Para el cálculo de la demanda calórica de la sala de dosificación se realizó el levantamiento del modelo en 3D del edificio de operación de la Planta Luis Prieto en el software IFC Builder. Los cortes principales se muestran en la Figura 13. A partir de este modelo, el software Cypetherms Loads calculó la carga térmica de la sala de dosificación por un valor de 6.819 W, como se muestra en la Tabla II.

Tabla II. Carga de calefacción sala de dosificación Planta Luis Prieto Gómez

CARGA TOTAL DE CALEFACCIÓN						
CARGA TOTAL POR UNIDAD DE SUPERFICIE (W/m2)	FACTOR DE CALOR SENSIBLE	CARGA LATENTE (W)	MAYORACIÓN DE LA CARGA LATENTE (5,0 %) (W)	CARGA SENSIBLE (W)	MAYORACIÓN DE LA CARGA SENSIBLE (5,0 %) (W)	CARGA TOTAL DE CALEFACCIÓN
109,11	0,97	219	11	6275	314	6819 W

Fuente: Informe carga máxima de calefacción (Cypetherms Loads).

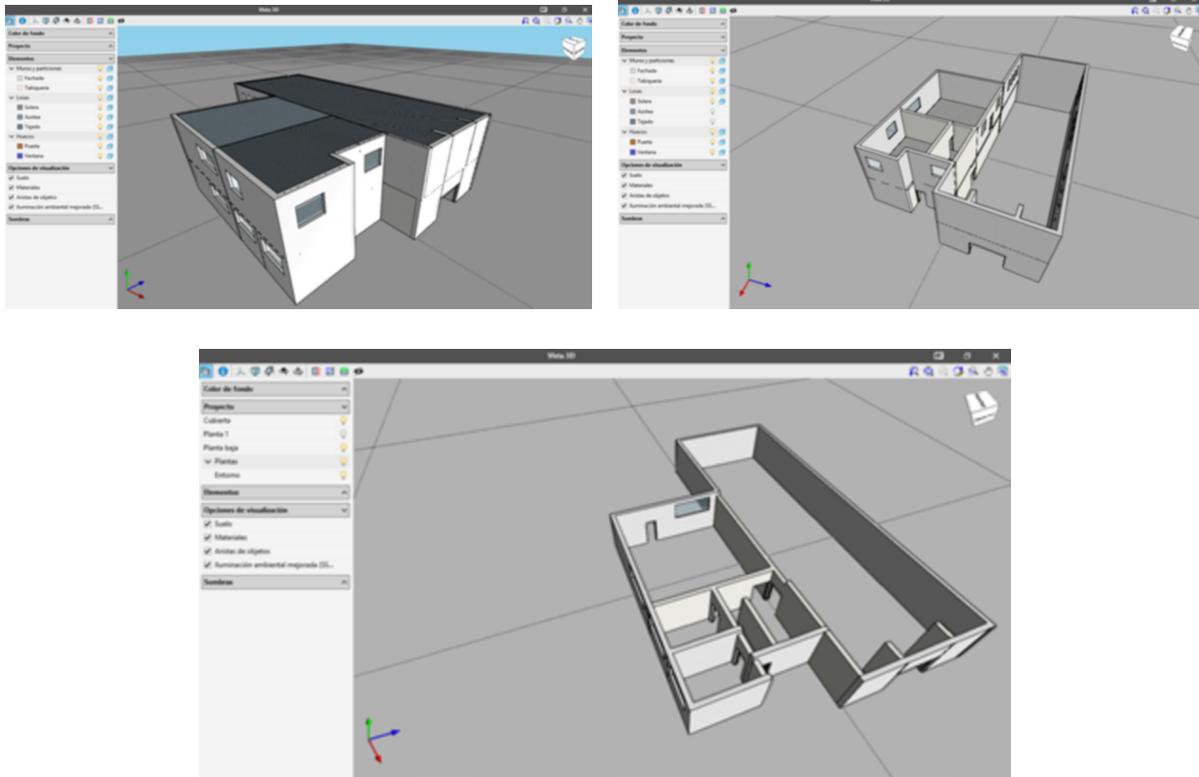


Figura 13. Vista 3D del edificio de operación de la Planta Luis Prieto Gómez. Vista general (superior izquierda), planta superior (superior derecha), planta inferior (inferior)

Fuente: elaboración propia mediante IFC Builder.

3.2.2. Sistema de calefacción

A partir de la caracterización de oferta y demanda calórica del contexto de la Planta Luis Prieto Gómez se procedió a la búsqueda del sistema de calefacción que respondiera a las condiciones de uso del recurso termal. Para lo anterior se concretó una visita con un asesor especializado, quien partiendo de los datos de demanda y oferta de calor determinó como sistema más eficiente un circuito de intercambiadores de calor, el cual permite la distribución del calor por medio de radiación mediante el recorrido del agua termal a través de los tubos, los cuales estarían distribuidos en las paredes de la sala de dosificación. Con esta disposición, el recurso termal después de la liberación del calor es devuelto al proceso de coagulación de agua en la planta de tratamiento, generando un uso en cascada de la fuente tanto en sus propiedades físicas como químicas.

3.3. Estudio financiero y ambiental

3.3.1. Estudio financiero

La valoración del costo de inversión inicial para el sistema de calefacción termal se determinó por un total de \$ 4.000.000 + IVA, según cotización brindada por la empresa Tecnicas & Artingas, y el costo para el sistema de calefacción convencional por un total de \$ 11.010.071 + IVA, según cotización de la empresa Grupo Ema Ingeniería. Como consumo energético en el caso del sistema

termal, el único componente que requiere alimentación de la red eléctrica es la bomba de recirculación con un consumo de 1 KW y en el caso del sistema convencional que se alimenta de la red eléctrica, un consumo de 6,7 KW, y para ambos se consideró un promedio de funcionamiento de 12 horas al día.

Con los valores de inversión inicial, ingresos y costos para cada sistema se obtuvo el flujo de caja que se presenta en la Tabla III, lográndose un ahorro económico anual significativo del sistema de calefacción termal frente a un sistema convencional de \$ 18.403.311, debido al consumo energético global del sistema y al costo de inversión de equipos.

Tabla III. Flujo de caja de sistemas de calefacción

FLUJO DE CAJA		
AÑO 1		
ITEM	SISTEMA TERMAL	SISTEMA CONVENCIONAL
INVERSIÓN INICIAL	-\$ 4.760.00,00	-\$ 13.101.984,49
INGRESOS	\$ -	\$ -
Valor por consumo energético (\$)	\$ 1.765.145	\$ 11.826.470
Mantenimiento	\$ 365.092	\$ 365.092
COSTOS	\$ 2.130.237	\$ 12.191.562
FLUJO NETO	-\$ 6.890.237	-\$ 25.293.547

3.3.2. Estudio ambiental

La huella de carbono del proyecto se calculó con una generación al año de 0,57 toneladas de CO₂ para el sistema termal y para el sistema convencional de 3,83 toneladas, como se muestra en el Tabla IV. Lo anterior permitió evidenciar que el sistema de calefacción termal proyecta un ahorro de 3,25 toneladas de CO₂ emitidas al año.

Tabla IV. Huella de carbono de sistemas de calefacción

HUELLA DE CARBONO		
ITEM	SISTEMA TERMAL	SISTEMA CONVENCIONAL
Consumo energético (MW)	0,001	0,0067
Factor de emisión (TCO ₂ /MWh)	0,13	
Toneladas CO ₂ /año	0,57	3,83

3.4. Análisis de resultados a la luz de la sostenibilidad ambiental

Como eje de la investigación se planteó la sostenibilidad del aprovechamiento energético y es entonces que para abordar un proyecto desde esta perspectiva, más allá de evaluar los impactos

ambientales, se debe partir desde el análisis de la propia concepción del desarrollo sostenible como el que “satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [13], en tanto un proyecto sostenible relaciona y equilibra las esferas ambiental, social y económica mediante un diálogo que permite la ejecución productiva sin sacrificio social o ambiental.

Adicionalmente la sostenibilidad de la propuesta se debe abordar desde la naturaleza propia del recurso, puesto que tal como lo plantea Valgardur Stefansson, “los conceptos renovable y sostenible no son comparables. Renovable describe una propiedad del recurso energético, mientras que sostenible describe cómo se utiliza el recurso” [14, p. 883], pero sí son complementarios, es decir para tener una operación sostenible, se debe contar con un recurso renovable, cumpliendo con la premisa que una explotación sostenible es la que se realiza a una escala inferior a la de recarga del recurso, para lo cual esta propuesta se acoge a la concesión otorgada por la Corporación Autónoma Corpocaldas a la empresa Aguas de Manizales S.A. E.S.P. para la utilización del recurso, garantizando la sostenibilidad del uso y la renovación del recurso en su escala de recarga.

Ligado a esto, la sostenibilidad también depende, entre otras, de “la tecnología para explotar, transportar y utilizar el calor natural” [15, p. 139], presentándose así como ventaja resaltable, debido a que se realiza el aprovechamiento de un recurso que aflora naturalmente sin requerir un proceso de perforación y extracción. En lo referente al transporte, el recurso termal es captado y transportado por medio de tubería plástica hasta la planta de tratamiento, transporte que es avalado y supervisado por Corpocaldas, puesto que por las características de esta agua termal, una infiltración en el tramo del recorrido representaría una alteración de ecosistemas, afectando las condiciones biológicas dentro de la reserva forestal protectora; igualmente, el sitio de llegada y almacenamiento del agua en la planta es monitoreado frente a filtraciones para evitar alteraciones en un ecosistema que no está adaptado a las características de este tipo de agua.

Dentro de la sostenibilidad surge la sostenibilidad energética enfocada en las alternativas que permiten satisfacer las demandas de energía en una concordancia con los objetivos de conservación y buen uso de los recursos naturales. Y es precisamente en esta sostenibilidad donde se ubica este aprovechamiento, con miras a la solución de un problema técnico a partir de una alternativa ambientalmente amigable, utilizando medios no convencionales de energía como las aguas termales, que son un recurso natural considerado renovable, además se aplicó el uso en cascada, que es un término de economía circular que se refiere a la optimización del uso del recurso para varios fines específicos, con el propósito de “diversificar la reutilización a través de las fases de una cadena de valor” [16, p. 4], en este caso para el tratamiento de agua y para la generación de calor.

El proceso de generación de calor del sistema se produce además mediante un ciclo cerrado de calefacción; es decir, no se generan residuos o salidas no aprovechables del sistema, el agua termal que entra para liberar el calor dentro de la sala de dosificación sale en igual cantidad y continúa hacia su aprovechamiento químico en el proceso productivo del agua potable, sin generar desperdicios en ninguna etapa, respondiendo así a un ciclo de vida del sistema con menores impactos negativos asociados a la producción del calor. Y a pesar que este sistema demandó alimentación eléctrica para la bomba de recirculación, representó un 85 % menos de consumo de energía convencional respecto a la dependencia total del sistema convencional del fluido eléctrico provisto por la

empresa de servicio público, cuya fuente de generación hidráulica asocia efectos adversos como la degradación de ecosistemas acuáticos, impactos en la biodiversidad, generación de gases de efecto invernadero y efectos sísmicos [17, p. ii].

Sumado a lo anterior, los sistemas de aire acondicionado convencionales utilizan como medio de transformación y transporte de calor productos químicos llamados refrigerantes, los cuales poseen características adversas en su disposición final al cumplir su ciclo de vida, impactando al medio ambiente por la liberación de gases de efecto invernadero; elementos que no se presentaron en el sistema termal, debido a que no precisó de refrigerantes o sustancias con características negativas para el medio ambiente en su uso o disposición.

4. Conclusiones

El aprovechamiento energético para la calefacción de la sala de dosificación de la Planta Luis Prieto Gómez a partir de un recurso geotermal es una alternativa viable operativa, económica y ambientalmente, debido a la sinergia de los factores de oferta y demanda calorífica que posibilitan las condiciones ambientales óptimas para el funcionamiento adecuado de la dosificación de productos químicos en el proceso de potabilización del agua, con impactos ambientales menores, respondiendo a la sostenibilidad energética.

Se logró incorporar la sostenibilidad energética en la generación de condiciones operativas de tratamiento de agua utilizando agua termal como recurso renovable. Además, esta investigación mostró la producción de calor a través de un ciclo de vida cerrado, demostrando así, una correlación entre las esferas económica, ambiental y social, como se requiere en el desarrollo sostenible. En adición, este aprovechamiento aporta como referente para intereses investigativos o de aplicación real posteriores, atendiendo al diálogo ambiental y productivo, satisfaciendo una demanda energética dentro un proceso industrial.

Referencias

- [1] Aguas de Manizales S.A. E.S.P., *Aguas de Manizales*, 2019. [En línea]. <https://www.aguasdemanizales.com.co/Portals/Aguas2016/NuestraEmpresa/Documentos/Presentaci%C3%B3n%20Aguas%202019.pdf> ↑2
- [2] N. C. Marzolf, *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia*, Isagen; BID, 2014. [En línea]. <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf> ↑3
- [3] J. Santamarta, "Las energías renovables son el futuro", *World Watch*, no. 22., 2004. [En línea]. <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/511.pdf> ↑3
- [4] M. H. Dickson y M. Fanelli, *¿Qué es la energía geotérmica?*, Pisa, Italia: Instituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), s.f. [En línea]. http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.PDF ↑3
- [5] J. B. Torres Cruces, *Climatización de sala multiuso mediante energía geotérmica de baja entalpía* (Tesis de grado), Universidad Andrés Bello (Chile), 2017. [En línea] http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/3515/all18547-Torres_J_Climatizacion_de_sala_multiuso_mediante_2017_Tesis.pdf ↑3

- [6] A. Ortiz Fernández, “Caso exitoso en Colombia del aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía para climatización”, *Reunión Nacional de Geotermia*, Manizales 2017, 2017. ↑3
- [7] RENAG, *Reunión Nacional de Geotermia*, 2018. [En línea]. <https://www.ageocol.org/> ↑3
- [8] Google Earth. [Online]. <https://earth.google.com/web/@5.02033365,-75.42360294,2316.06538304a,1200.21035588d,35y,0h,0t,0r> ↑5
- [9] J. Gómez, N. E. Montes, Á. Nivia y H. Diederix (compiladores), *Atlas Geológico de Colombia 2015*. Escala 1:500 000. Servicio Geológico Colombiano, 26 planchas. Bogotá, 2015. [En línea]. http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Atlas_Geologico_colombiano_2015/ ↑5
- [10] CYPE Ingenieros, “Cypetherm Loads. Carga térmica de los edificios”, s.f. [En línea]. <http://cypetherm-loads.cype.es/> ↑6
- [11] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), *Guía técnica. Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDEA, 2008. [En línea]. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_13_Guia_tecnica_Procedimientos_y_aspectos_de_la_simulacion_termicas_en_edificios_72a7f4d6.pdf ↑6
- [12] Unidad de Planeación Minero Energética UPME, “Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ del SIN 2018 - Dic 2019”, 2019. [En línea] <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/calculo-factor-de-emision-de-Co2-del-SIN.aspx> ↑7
- [13] R. Bermejo, *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*, Bilbao (Esp.): UPV/EHU, 2014. [En línea] <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0686956.pdf> ↑15
- [14] V. Stefansson, “The renewability of geothermal energy”, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 2000. [Online]. <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2000/R0776.PDF> ↑15
- [15] Z. I. González Acevedo, “La sustentabilidad de la energía geotérmica y sus impactos ambientales”, *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*, vol. 9, no. 3, 2017. [En línea]. https://iydt.files.wordpress.com/2018/02/3-1_la-sustentabilidad-de-la-energ%C3%ADa-geot%C3%A9rmica-y-sus-impactos-ambientales.pdf ↑15
- [16] Ellen MacArthur Foundation, “Hacia una Economía Circular. Resumen Ejecutivo”, 2014. [En línea]. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_Spanish_exec_pages-Revise.pdf ↑15
- [17] Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente, AIDA, *Grandes represas en América. ¿Peor el remedio que la enfermedad?*, 2009. [En línea]. https://aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/informe_aida_grandes_represas.pdf ↑16

Beatriz Eugenia Ospina Betancur

Ingeniera Ambiental, Universidad Católica de Manizales, Colombia. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Colombia. Coordinadora Profesional del proceso de Potabilización de la empresa Aguas de Manizales S.A. E.S.P.
Correo electrónico: ytteb1992@hotmail.com; beatriz.ospina@ucm.edu.co

Walter Murillo Arango

Licenciando en Biología y Química. Magíster en Ciencias Químicas. Doctor en Ciencias Químicas. Docente de planta de la Universidad del Tolima, adscrito al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias. Docente de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales, adscrito al Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD).