

# Análisis de Mediciones de Temperatura en Suelo sin Perturbar en Guayaquil - Ecuador

Morocho, Manuel<sup>1</sup>; Villanueva, Rubén<sup>2</sup>; Soriano, Guillermo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Centro de Energías Renovables y Alternativas, Guayaquil, Ecuador

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Quito, Ecuador

---

**Resumen:** En el presente artículo se muestran los resultados de las mediciones de temperatura del suelo sin perturbar en Guayaquil, Ecuador; un análisis de las mismas y su aplicación en investigaciones futuras. Las mediciones se hicieron, a través de dos métodos distintos, con el fin de identificar la metodología y los equipos más adecuados para obtener dicha variable y utilizarlos en pruebas de respuesta térmica, útiles para el diseño de intercambiadores de calor de suelo. Los métodos, descritos en la Sección 2 del artículo, consistieron en el uso de los equipos GeoCube™ y el datalogger de temperatura MicroTemp, de forma que con ellos se pudieran efectuar las mediciones de temperatura del suelo sin perturbar, considerando que con el datalogger se puede obtener el perfil de temperatura del suelo debido a que permite tomar mediciones individuales de temperatura a lo largo de toda la extensión del pozo. Con ellos, se obtuvieron valores de temperatura media y el perfil de temperatura del suelo para pozos ubicados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la Universidad de Guayaquil y el Centro Cívico de Guayaquil de  $26,5 \pm 0,2\%$  °C,  $28 \pm 0,2\%$  °C y  $29 \pm 0,2\%$  °C para el GeoCube™ y de  $26,8 \pm 0,3\%$  °C,  $28,3 \pm 0,4\%$  °C y  $29,9 \pm 0,3\%$  °C para el MicroTemp. Con estos resultados, se validaron las mediciones en cuestión y se estableció que la temperatura en el suelo debe medirse mensualmente durante un año completo, de forma que se disponga del perfil de la temperatura en el suelo a lo largo de todo un año para aplicaciones de diseño.

**Palabras clave:** Datalogger, GeoCube™, intercambiador de calor de suelo, MicroTemp™, prueba de respuesta térmica, temperatura media del suelo sin perturbar.

## Analysis of Temperature Measurements in Non-Disturbed Soil in Guayaquil - Ecuador

**Abstract:** In this article the results of undisturbed soil temperature measurements at Guayaquil, Ecuador; a measurement analysis, and their use for future applications are shown. The measurements were done through two different methods to identify suitable technology and methodology for obtaining soil temperature for its use in thermal response tests and borehole heat exchangers design. The methods, which are described in detail in the second Section of this article, consisted in using GeoCube™ and the temperature datalogger MicroTemp for obtaining undisturbed soil temperature measurements, considering datalogger can measure individual soil temperature values along all the heat exchanger. With these devices, for perforations located in Escuela Superior Politécnica del Litoral, the Universidad de Guayaquil and the Centro Cívico de Guayaquil, soil temperature distribution and average soil temperature values of  $26,5 \pm 0,2\%$  °C,  $28 \pm 0,2\%$  °C and  $29 \pm 0,2\%$  °C were obtained for GeoCube™ and  $26,8 \pm 0,3\%$  °C,  $28,3 \pm 0,4\%$  °C and  $29,9 \pm 0,3\%$  °C values were obtained for the MicroTemp. With these results, the soil temperature measurements were validated for its use in soil heat dissipation systems design and it was decided to do monthly soil temperature measurements along all one year as these soil temperature values could be used for design applications.

**Keywords:** Borehole heat exchanger, datalogger, GeoCube™, MicroTemp, soil average temperature without disturbing, thermal response test.

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor de suelo (BHE del inglés *Borehole Heat Exchanger*) son dispositivos que actualmente tienen mucha utilidad en el acondicionamiento térmico de espacios (Soriano & Siguenza, 2015). Su principio de operación, en el que utilizan al suelo como sumidero o fuente

de calor, y su buen desempeño los hacen más atractivos para el diseño de sistemas de acondicionamiento de espacios que equipos convencionales. Sin embargo, el gran costo de construcción de los pozos en donde se emplazan es un aspecto que limita su elección con respecto a los equipos existentes. De esta forma, el diseño y construcción de los BHEs con su respectivo pozo, representan tareas muy importantes en

---

memorocho@espol.edu.ec

proyectos de esta índole. Existen muchas variables que determinan el diseño óptimo de un BHE. Dos de estas variables son la conductividad y la difusividad del suelo, por lo que la obtención de los valores correctos de las mismas es esencial para obtener un diseño adecuado. Para determinar dichos parámetros se suele hacer una prueba de respuesta térmica (TRT del inglés *Thermal Response Test*) en la que las variables de interés se calculan utilizando mediciones de temperatura y de calor transferido entre el fluido del BHE y el suelo (Soriano, Villanueva, González, Montero, & Cornejo, 2015). Uno de los parámetros que se mide es la temperatura del suelo sin perturbar, por lo cual puede notarse que el diseño del BHE depende directamente de esta variable. Teniendo lo anterior en cuenta, se ha optado por hacer un estudio para comparar y validar las mediciones de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidas a través de dos métodos diferentes, con el fin de realizar TRTs y obtener los valores adecuados de resistencia y conductividad del suelo; además de analizar los perfiles de temperatura del suelo sin perturbar para ver el comportamiento de su gradiente local y notar las implicaciones que esto tiene en el diseño de BHEs para su uso en la ciudad de Guayaquil.

El presente artículo tiene como fin describir brevemente dos de los métodos comúnmente utilizados para determinar la temperatura media del suelo sin perturbar, comparar y validar sus resultados y hacer observaciones en cuanto a los equipos necesarios, sus mediciones y sus ventajas con respecto a la obtención de la temperatura para pruebas TRT y el diseño de BHEs. Para el estudio, de acuerdo con Soriano et al. (2017), se dispuso de tres pozos ubicados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), la Universidad de Guayaquil y el Centro Cívico de Guayaquil. Los pozos cuentan con BHEs de tubería en u vertical con profundidades estimadas entre 50 y 60 m de acuerdo con la información especificada por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (2014). En la Tabla 1 se muestran la ubicación y profundidad de los pozos. En la Sección 2 se presentan los métodos y equipos utilizados para desarrollar las mediciones; y en las Secciones 3 y 4 se analizan los resultados obtenidos y se dan posibles explicaciones acerca del porqué de los mismos. Finalmente, en la Sección 5 se muestran las conclusiones más relevantes obtenidas en el presente estudio.

## 2. MÉTODOS

Existen varias metodologías para medir la temperatura media del suelo sin perturbar. Un método consiste en utilizar equipos para hacer TRTs que permitan medir la temperatura del suelo sin perturbar. Un ejemplo puede encontrarse en el equipo GeoCube™, mostrado en la Figura 1, de la empresa *Precision Geothermal* el cual permite, a través del TRT, hacer mediciones de las variables necesarias para determinar la conductividad y difusividad del suelo. Una de estas variables es precisamente el valor medio de la temperatura del suelo sin perturbar. Para esto, se debe hacer circular agua que haya alcanzado el equilibrio térmico con el suelo a través del BHE mediante la bomba del GeoCube™ y mediante los termómetros del mismo equipo se mide la temperatura del agua en circulación (Dth Rotary Drilling, 2009). Estos

termómetros cuentan con una resolución de  $\pm 0,2$  °C (Precision Geothermal, 2007).

**Tabla 1.** Localización y profundidad de los pozos utilizados para la medición de la temperatura

Ubicación de pozo	Profundidad (m)	Posición X	Posición Y
ESPOL	60	616 350,25	9 762 495,55
Universidad de Guayaquil	60	622 554,09	9 759 392,59
Centro Cívico de Guayaquil	60	623 103,20	9 756 112,67



**Figura 1.** GeoCube™.

Otro método consiste en el uso de una sonda de temperatura para efectuar mediciones de temperatura en agua almacenada en el interior de la tubería del BHE a lo largo de toda la profundidad del mismo para hallar el perfil de temperatura del suelo y con ello obtener un valor de temperatura media del intercambiador. Para esto, la sonda debe hacerse con un sensor que permita ser programado para tomar mediciones de temperatura cada cierto tiempo de forma que, según los intervalos de tiempo, puedan tomarse un mismo número de mediciones de temperatura a una misma profundidad y variando la misma a intervalos de distancia fijos empleando el menor tiempo posible. Esto puede conseguirse a través de un *datalogger* de temperatura, como el que se muestra en la Figura 2, el cual es un sensor que permite programar la forma en que las mediciones de temperatura pueden tomarse. Así, mediante el GeoCube™ y una sonda de temperatura conformada por un cable de acero galvanizado de 3/16" y 62,5 m de largo y el *datalogger* de temperatura, MicroTemp, de la marca MadgeTech, con una resolución de  $\pm 0,2$  °C (MadgeTech, 2016), se aplicaron los métodos anteriormente descritos.

Con los valores de temperatura del suelo a una profundidad dada  $T_{i,datalogger}$ , obtenidos a partir de 10 mediciones, hechas con el *datalogger*, para un mismo punto en el suelo y haciendo un análisis estadístico adecuado para la obtención de sus incertidumbres (Holman, 1994), se haya la temperatura media a partir de los mismos mediante la Ecuación (1).

$$\bar{T}_{datalogger} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{i,datalogger} \quad (1)$$



Figura 2. Datalogger de temperatura MicroTemp.

Donde  $\bar{T}_{datalogger}$  representa la temperatura media obtenida por las mediciones hechas con el datalogger y  $n$  representa el número de datos obtenidos para un determinado BHE, valor que depende en sí de la longitud del mismo y en el tamaño de los intervalos. Las mediciones de temperatura con el datalogger se hicieron considerando intervalos de 2,5 m.

Por último, con la información disponible, se pueden estimar las incertidumbres de los valores de temperatura media siguiendo la metodología mostrada en la literatura (Kline & McClintock, 1953). Así, la incertidumbre,  $u$ , mediante sus componentes de incertidumbre tipo A y tipo B,  $u_A$  y  $u_B$ , respectivamente, puede calcularse con las Ecuaciones (2), (3) y (4) (Servicio de Acreditación Ecuatoriano, 2014).

$$u_A = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (2)$$

$$u_B = \frac{\text{Resolución de datalogger}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (4)$$

Donde  $u_i$  representa la incertidumbre de cada valor de temperatura del suelo obtenido después del análisis estadístico mostrado en la obra de Holman (1994) a través de los valores medidos con el datalogger.

### 3. RESULTADOS

En las Tablas 2-6 y Figuras 3-5 se presentan los datos medidos con el GeoCube™ y el MicroTemp en los BHEs de los pozos mencionados, los perfiles reales de temperatura del suelo sin perturbar obtenidos con el datalogger y los valores medios de temperatura calculados con la Ecuación (1) y sus respectivas incertidumbres obtenidas por las Ecuaciones (2), (3) y (4).

Tabla 2. Valores de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidos a partir del uso del GeoCube™

Ubicación de pozo	Temperatura media del suelo sin perturbar (°C) medida por el GeoCube™
ESPOL	26,5 ±0,2
Universidad de Guayaquil	28,0±0,2
Centro Cívico de Guayaquil	29,0±0,2

Tabla 3. Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en la ESPOL obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (°C) a profundidad específica
47,5	26,0±0,2% (999 a 1)
45	26,0±0,3% (999 a 1)
42,5	26,0±0,2% (999 a 1)
40	26,1±0,3% (999 a 1)
37,5	26,1±0,3% (999 a 1)
35	26,1±0,3% (999 a 1)
32,5	26,1±0,3% (999 a 1)
30	26,2±0,2% (999 a 1)
27,5	26,2±0,3% (999 a 1)
25	26,3±0,2% (999 a 1)
22,5	26,4±0,3% (999 a 1)
20	26,5±0,3% (999 a 1)
17,5	26,8±0,4% (999 a 1)
15	27,0±0,3% (999 a 1)
12,5	27,2±0,2% (999 a 1)
10	27,5±0,5% (999 a 1)
7,5	27,8±0,6% (999 a 1)
5	28,1±0,6% (999 a 1)
2,5	28,6±1,0% (999 a 1)
0	29,1±3,3% (999 a 1)

Tabla 4. Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en la Universidad de Guayaquil obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (°C) a profundidad específica
42,5	27,5±0,2% (999 a 1)
40	27,5±0,3% (999 a 1)
37,5	27,6±0,3% (999 a 1)
35	27,6±0,2% (999 a 1)
32,5	27,7±0,2% (999 a 1)
30	27,7±0,3% (999 a 1)
27,5	27,8±0,3% (999 a 1)
25	27,9±0,3% (999 a 1)
22,5	28,1±0,2% (999 a 1)
20	28,2±0,2% (999 a 1)
17,5	28,4±0,3% (999 a 1)
15	28,6±0,4% (999 a 1)
12,5	28,7±0,3% (999 a 1)
10	28,8±0,3% (999 a 1)
7,5	29,0±0,3% (999 a 1)
5	29,2±0,3% (999 a 1)
2,5	29,7±0,7% (999 a 1)
0	30,3±4,7% (999 a 1)

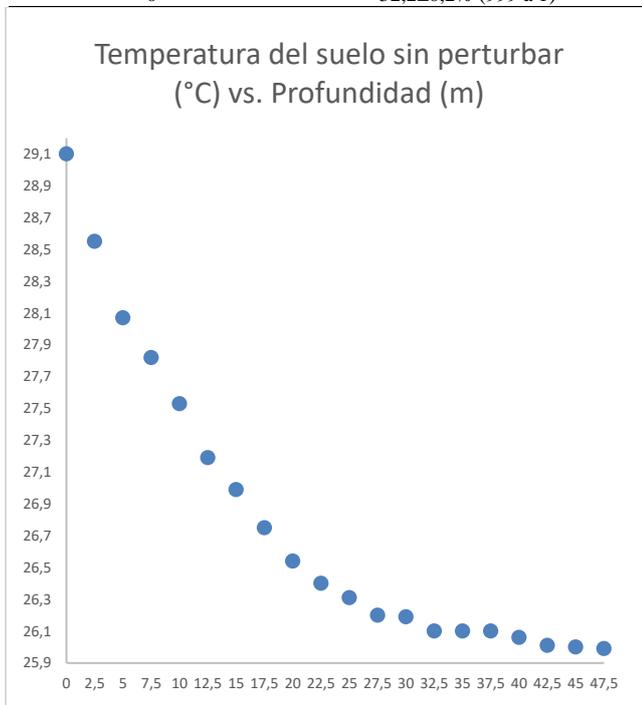
### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidas por el GeoCube™ y el MicroTemp se muestran en las Tablas 2 y 6, respectivamente. Puede notarse que en los resultados correspondientes a cada pozo hay una diferencia máxima del orden de 0,3 °C, a excepción de los resultados obtenidos en el Centro Cívico de Guayaquil. Esta diferencia, con respecto al cambio de temperatura esperado en el fluido del intercambiador durante su operación, puede ser despreciada lo cual valida los resultados obtenidos por ambos métodos y su uso para calcular la resistencia y la difusividad del suelo. Con respecto a las incertidumbres presentadas en los resultados y en base al valor de incertidumbre aceptada de ±0,3 °C para mediciones de temperatura en el suelo señalada en la documentación de la Sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE del inglés American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (2011), los resultados tuvieron

valores muy por debajo del valor comúnmente aceptado, lo cual permite también validar los mismos.

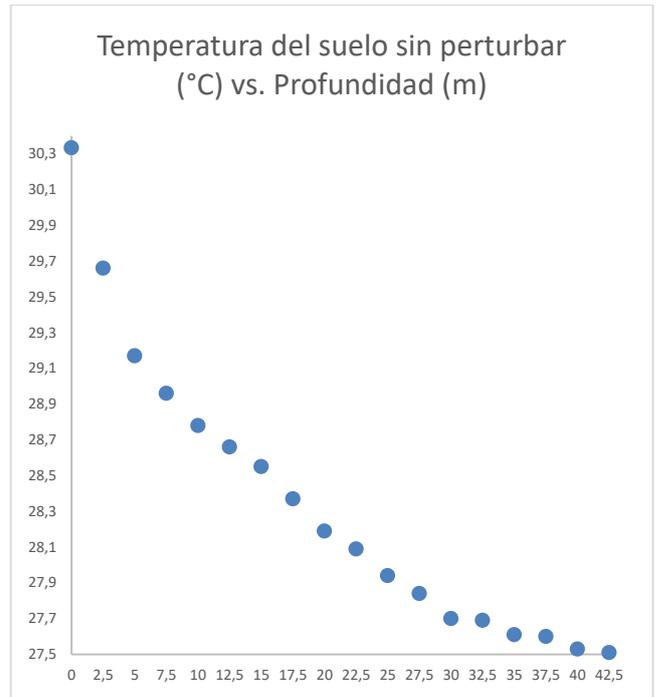
**Tabla 5.** Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en el Centro Cívico obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (°C) a profundidad específica
32,5	28,6±0,3% (999 a 1)
30	28,7±0,2% (999 a 1)
27,5	28,8±0,3% (999 a 1)
25	28,9±0,3% (999 a 1)
22,5	29,1±0,2% (999 a 1)
20	29,3±0,3% (999 a 1)
17,5	29,5±0,3% (999 a 1)
15	29,7±0,2% (999 a 1)
12,5	29,9±0,4% (999 a 1)
10	30,3±0,4% (999 a 1)
7,5	30,7±0,4% (999 a 1)
5	31,1±0,5% (999 a 1)
2,5	31,9±0,8% (999 a 1)
0	32,2±0,2% (999 a 1)

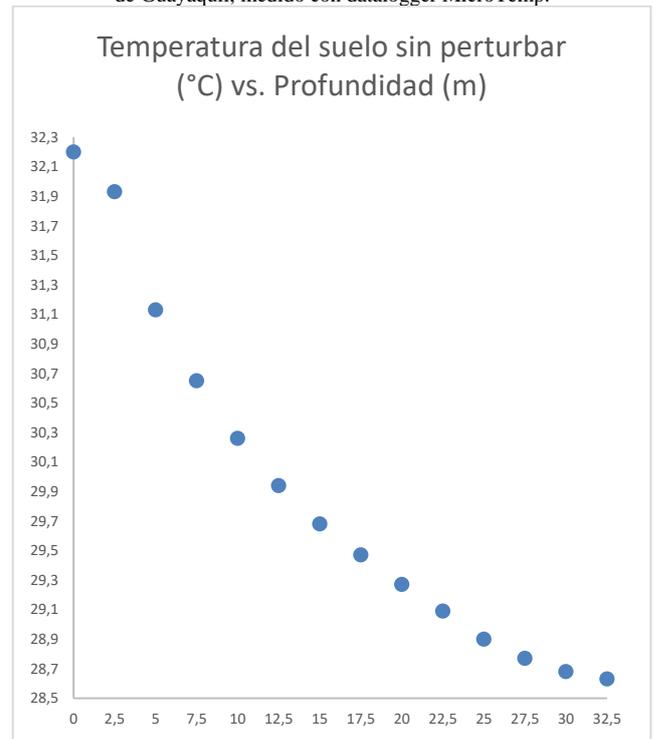


**Figura 3.** Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en ESPOL, medido con datalogger MicroTemp.

En el caso del pozo ubicado en el Centro Cívico, los resultados presentan una diferencia de 0,9 °C, la cual no es despreciable. Sin embargo, esta diferencia puede atribuirse al hecho de que las mediciones con el *datalogger* no se pudieron efectuar en toda la extensión del pozo debido al imprevisto deterioro de la tubería en u del BHE. Esta falta de datos pudo provocar que la distribución de temperatura obtenida con el sensor se encuentre sesgada respecto a la distribución de temperatura real provocando una diferencia de la media de ambas distribuciones.



**Figura 4.** Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en la Universidad de Guayaquil, medido con datalogger MicroTemp.



**Figura 5.** Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en el Centro Cívico de Guayaquil, medido con datalogger MicroTemp.

Con respecto a las Figuras 3, 4 y 5, que presentan los perfiles reales de temperatura en el suelo, hay muchos aspectos que se pueden resaltar y que resultan útiles para el diseño de BHEs.

Puede observarse que los gradientes de temperatura (pendientes de las curvas de las Figuras 3, 4 y 5) disminuyen a medida que aumenta la profundidad en el suelo lo cual, a través de la *ecuación de Fourier para la transferencia de calor por conducción*, lleva a notar que a medida que se avanza en profundidad la ganancia en transferencia de calor comienza a

disminuir considerablemente. Esto permite pensar en una *longitud óptima* de tubería para un intercambiador vertical de suelo que debería considerarse para el diseño de BHEs verticales, en donde, después de la longitud en cuestión, el ahorro generado por la transferencia de calor que se gana no logra suplir el costo de construcción adicional para que el BHE alcance una mayor profundidad. Esta longitud óptima de tubería para BHEs verticales puede hallarse a través de los datos de los perfiles reales de temperatura de suelo sin perturbar, permitiendo optimizar el diseño de BHEs verticales.

Otro aspecto que se genera por la misma variación del gradiente de temperatura a medida que la profundidad en el suelo aumenta es el hecho de que, para cambios de profundidad fijos, los cambios de temperatura disminuyen a medida que la profundidad aumenta: Esto lleva a considerar que para BHEs horizontales habrá algún nivel de profundidad para el cual la ganancia en transferencia de calor por el aumento de la profundidad no logre justificar el aumento del costo de construcción del pozo, haciendo notar la necesidad de utilizar los datos de los perfiles de temperatura del suelo sin perturbar para optimizar también el diseño y construcción de BHEs horizontales y sus correspondientes pozos.

**Tabla 6.** Valores de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidos a partir del uso del MicroTemp y la Ecuación (1)

Ubicación de pozo	Temperatura media del suelo sin perturbar (°C) obtenida por la Ecuación (1) y mediciones realizadas con el MicroTemp
ESPOL	26,8 ±0,3%
Universidad de Guayaquil	28,3±0,4%
Centro Cívico de Guayaquil	29,9±0,3%

Por último, es interesante resaltar la diferencia entre la temperatura del aire encima del suelo y la temperatura superficial del mismo. Debido a que, localmente, el aire tiene un valor de temperatura promedio aproximado de 27 °C, de acuerdo con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2015), puede observarse, mediante las Figuras 3, 4 y 5, que esta diferencia es menor que la diferencia de temperatura que se alcanza a lo largo de todo el BHE, lo cual es una clara muestra de la superioridad de los sistemas de acondicionamiento geotérmicos, en términos de la transferencia de calor, sobre los equipos de acondicionamiento convencionales.

## 5. CONCLUSIONES

Se describieron dos de los métodos utilizados para medir la temperatura media del suelo sin perturbar. Se detallaron los procedimientos utilizados y, brevemente, los equipos necesarios para llevarlos a cabo.

Se compararon los resultados obtenidos por ambos métodos y sus equipos necesarios. Con base a las diferencias de temperatura encontradas, se validaron los resultados obtenidos a través de los dos equipos descritos considerando que el uso de los mismos permitiría obtener valores de resistencia y difusividad muy aproximados a los reales a través de un TRT.

Se encontró que a partir de aproximadamente 42,5 m de profundidad la temperatura del suelo comienza a estabilizarse.

Esta longitud representa un *primer límite* para la profundidad de un pozo y la extensión de su respectivo BHE puesto que, por lo expuesto en la Sección 4, para longitudes mayores, el aumento en la transferencia de calor ya no puede justificar los costos de ampliación de profundidad del pozo. A su vez, este primer límite de longitud representa una pauta para encontrar la *longitud óptima de tubería* para un BHE vertical, descrita así mismo en la Sección 4.

Se concluye además que es recomendable utilizar el *datalogger* por encima del equipo para realizar TRT para los casos en los que la tubería del BHE no presente daños y permita registrar la temperatura en toda la extensión del pozo.

El *datalogger* permite alcanzar valores de incertidumbre bajos con una alta probabilidad y hallar el perfil real de temperatura del suelo sin perturbar, el cual puede utilizarse para optimizar diseños de BHEs horizontales y verticales, como se describió en la Sección 4, además de poder ser utilizado como perfil inicial de temperatura del suelo para simulaciones del comportamiento del BHE.

Por último, debido a los resultados mostrados en este artículo, se decidió utilizar las mediciones de temperatura obtenidas para llevar a cabo investigaciones enfocadas a la optimización del diseño de BHEs horizontales y verticales, análisis de costo-beneficio del uso de varios BHEs y en distintas configuraciones (en serie o en paralelo) para un mismo pozo e investigaciones referentes al análisis y diseño de bombas de calor de suelo (GHP del inglés *Ground Heat Pump*). La medición de temperatura en el suelo se hará mensualmente a lo largo de todo un año, de forma que los diseños y análisis de los BHEs dispongan de los datos del perfil de temperatura del suelo sin perturbar de dicho año.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la directiva de la Universidad de Guayaquil y del Centro Cívico de Guayaquil por haber permitido que se realicen las mediciones de temperatura en sus instalaciones.

## REFERENCIAS

- ASHRAE. (2011). Geothermal Energy. En ASHRAE, *2011 ASHRAE Handbook* (págs. 34.1-34.34). ASHRAE.
- Dth Rotary Drilling. (2009). *Borehole logging: GeoCube cuts energy uncertainty*. Obtenido de Dth Rotary Drilling Web Site: <http://dthrotarydrilling.com>
- Holman, J. (1994). *Experimental methods for engineers*. New York: McGraw Hill Inc.
- INAMHI. (2015). *Anuario Meteorológico*. INAMHI.
- INER. (2014). *Informe preliminar consolidado del conjunto de datos para el proyecto: "Uso del suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos" en Guayaquil*. Quito: INER.
- Kline, S., & McClintock, F. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mech. Eng.*, 3-8.

MadgeTech. (2016). *MicroTemp Datalogger Specifications*. Obtenido de MadgeTech Web Site: <http://international.madgetech.com>

Precision Geothermal. (2007). *Precision Geothermal DLL*. Obtenido de Precision Geothermal Web Site: <http://precisiongeothermal.com>

Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2014). *Incertidumbre de las mediciones*. Quito: SAE.

Soriano, G., & Siguenza, D. (2015). Thermal performance of a borehole heat exchanger located in Guayaquil-Ecuador using novel heat transfer fluids. *ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Houston: American Society of Mechanical Engineers.

Soriano, G., Espinoza, T., Villanueva, R., González, I., Montero, A., Cornejo, M., & López, K. (2017). Thermal geological model of the city of Guayaquil, Ecuador. *Geothermics*, 101-109.

Soriano, G., Villanueva, R., González, I., Montero, A., & Cornejo, M. (2015). First in situ measurement of soil thermal response in Guayaquil, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 327-336.



**Guillermo Soriano** es el director del Centro de Energías Renovables y Alternativas (CERA) y es profesor agregado de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guillermo tiene el título de Ingeniero Mecánico de la ESPOL, una maestría en Ingeniería Industrial del Georgia Institute of Technology y su doctorado en Ingeniería Mecánica de la Texas A&M University. Sus intereses de investigación se centran en el área de ciencias térmicas y su aplicación en sistemas energéticos. Últimamente se ha enfocado en el comportamiento térmico de envolventes de edificios y en sistemas HVAC.



**Manuel Morocho** es Analista de laboratorio en el Centro de Energías Renovables y Alternativas (CERA) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Manuel tiene el título de Ingeniero Mecánico ofertado por la ESPOL. Sus intereses de investigación se centran en las áreas de geotermia y turbomaquinaria para aplicaciones de micro-generación eléctrica y propulsión. Sus últimos trabajos se han enfocado en la simulación de flujos bifásicos en turbinas hidráulicas de impulso y la simulación del desempeño de bombas de calor geotérmicas instaladas en la ciudad de Guayaquil.



**Rubén Villanueva** es Técnico docente en el Laboratorio de Ensayos Térmicos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). Tiene una maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Ingeniería Energética y de Fluidos obtenida en la Universidad de Oviedo. Sus intereses profesionales se centran en el ámbito de las energías renovables, la gestión de proyectos y procesos. Sus últimos trabajos se han centrado en el diseño de instalaciones y su análisis operativo.