

CONESCAPANHONDURAS2025paper134.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477758997

Submission Date

Jul 31, 2025, 10:09 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 6:30 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper134.pdf

File Size

1.1 MB

6 Pages




2,735 Words

14,504 Characters

13% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 11%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 11%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	hdl.handle.net	2%
2	Internet	www.coursehero.com	2%
3	Internet	riaa.uaem.mx	<1%
4	Internet	www.sanignaciodecalama.cl	<1%
5	Internet	dalspace.library.dal.ca	<1%
6	Internet	docplayer.es	<1%
7	Internet	revistas.uclave.org	<1%
8	Internet	es.avtotachki.com	<1%
9	Publication	Livania Norberta de Oliveira, Cláudia Maria Sabóia de Aquino. "Propriedades tér...	<1%
10	Internet	iris.uniroma1.it	<1%
11	Internet	www.centa.gob.sv	<1%

12	Internet	www.researchgate.net	<1%
13	Internet	www.resistencias-electricas.com	<1%
14	Publication	Nunez Julia, Claudia Marcela. "Modelacion Del Flujo De Calor Del Suelo y Aplicacio...	<1%
15	Internet	issuu.com	<1%
16	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%
17	Internet	emisorasunidas.com	<1%
18	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
19	Publication	Stambouli, Talel Ben Bechir. "Gestión avanzada del riego por aspersión en parcel...	<1%
20	Internet	revistas.ubiobio.cl	<1%
21	Internet	scienceon.kisti.re.kr	<1%
22	Internet	www.bibliotekevirtual.org	<1%
23	Internet	www.erudit.org	<1%
24	Publication	Aranzabal Barrio, Nordin. "Novel Method and Instruments for the Optimal Techn...	<1%

Caracterización del suelo en el municipio de Soyapango para la implementación de pozos geotérmicos de baja entalpía

Abstract—This study focuses on the experimental characterization of the thermal properties of the soil in the municipality of Soyapango, at an educational institution in the area, during the summer season. The objective is to evaluate the feasibility of implementing low-enthalpy geothermal systems, specifically Canadian-type wells. The efficiency of these passive air-conditioning systems depends largely on the physical and thermal properties of the subsoil. In this context, parameters such as thermal conductivity, volumetric heat capacity, moisture content, stratigraphic structure, and water table are analyzed, as they are critical to the heat exchange process between the ground and the system. Accurate soil characterization not only allows to estimate the thermal performance of the well, but also to identify technical limitations that may affect its design or efficiency. This analysis is crucial to ensure the success of sustainable, low-energy air-conditioning solution in urban areas with variable geological conditions such as those in the Soyapango district of San Salvador, El Salvador.

Keywords—Low enthalpy, geothermal energy, thermal conductivity, Canadian wells, soil thermal properties.

Resumen—El presente estudio, se enfoca en la caracterización experimental de las particularidades térmicas del suelo en el municipio de Soyapango en una institución educativa de la zona, en la época de verano, con el propósito de evaluar la posibilidad de implementar sistemas geotérmicos de baja entalpía, específicamente pozos tipo canadiense. La eficiencia de estos sistemas pasivos de climatización depende en gran medida de las propiedades físico-térmicas del subsuelo. En este contexto, se analizan parámetros como la conductividad térmica, capacidad calorífica volumétrica, contenido de humedad, estructura estratigráfica y nivel freático, todos ellos determinantes en el proceso de intercambio de calor entre el terreno y el posible sistema a implementar. Una caracterización precisa del suelo permite no solo estimar el rendimiento térmico del pozo, sino también identificar limitaciones técnicas que puedan afectar su diseño o eficiencia.

Palabras clave—Geoterminia de baja entalpía, pozos tipo canadiense, propiedades térmicas del suelo, climatización pasiva.

I. INTRODUCCIÓN.

El conocimiento de las propiedades térmicas del suelo es fundamental y análisis de proyectos de ingeniería que involucren el flujo de calor a través del subsuelo tales como los sistemas geotérmicos de baja entalpía. En este estudio, se evalúa experimentalmente estas propiedades en una institución educativa del municipio de Soyapango, con el objetivo de determinar su viabilidad para la implementación de pozos geotérmicos horizontales.

Este tipo de sistemas aprovecha el comportamiento constante del terreno a partir de una cierta profundidad, en torno a los 2 metros, donde la temperatura se mantiene estable todo el año, cercana a la temperatura anual del ambiente. [1] Esta característica convierte al subsuelo en reservorio térmico natural, con un gran potencial para la climatización pasiva de edificaciones mediante sistemas como el pozo canadiense.

II. PROPIEDADES TÉRMICAS

Debido a su alta capacidad calorífica y baja conductividad térmica, el suelo actúa como un acumulador térmico natural. Su baja conductividad hace que el calor se transfiera lentamente, lo cual resulta ventajoso para almacenar energía térmica más allá de los 0.5 metros, mientras que las variaciones estacionales alcanzan profundidades de hasta 2 metros, estabilizándose a partir de ese punto. [2]

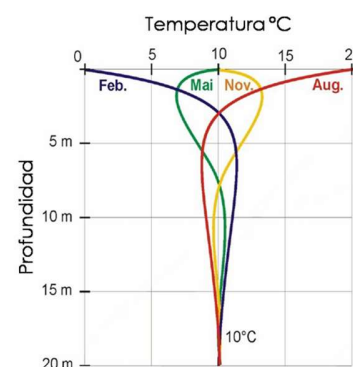


Fig. 1. Temperatura del suelo en función de la profundidad en el hemisferio Norte. Fuente: [2].

En instalaciones geotérmicas de pequeña escala, como las que se pretenden implementar en entornos urbanos, se suelen usar valores empíricos para estimar la conductividad y difusividad térmica del suelo. Aunque esto puede inducir errores en variables como la humedad, mineralogía, densidad y estructura del suelo. Por ello, la caracterización térmica in situ es esencial para determinar de forma aproximada estos valores.

III. GEOLOGÍA LOCAL

En el municipio de San Salvador se caracteriza por una geología compleja, compuesta por suelos volcánicos, depósitos aluviales y diversas formaciones rocosas. Esta diversidad geológica influye directamente en la conductividad térmica del suelo, que, puede variar considerablemente en función de la composición, la porosidad y el contenido de humedad.[3]

Se entiende por conductividad térmica a la propiedad intrínseca del suelo de conducir calor, es decir, la velocidad con la que la energía térmica se transfiere a través del medio. (Cuevas & Gonzáles Penella, 2008),[4]. Por su parte, la capacidad calorífica hace referencia a la cantidad de calor que un material puede almacenar al cambiar su temperatura.

A continuación, se presenta una tabla con los valores típicos de conductividad térmica y capacidad calorífica para distintos tipos de suelo:

TABLA I. PROPIEDADES TÉRMICAS DE DISTINTOS SUELOS

Material	Conductividad térmica (J°/C/s)	Capacidad calorífica (J°/cm3/s)
Suelos arenosos húmedos	0.017	1.68
Arena	0.003	1.26
Arcilla	0.0025	1.26
Orgánico	0.0126	2.39
Nieve compacta	0.0029	0.92

Fuente: [4].

Estudios preliminares sugieren que algunas zonas de San Salvador presentan suelos con conductividades térmicas favorables para la implementación de sistemas geotérmicos de baja entalpía. Sin embargo, es fundamental realizar estudios geotécnicos y geofísicos detallados para determinar la conductividad térmica in situ y evaluar la viabilidad de estos sistemas en cada ubicación específica.

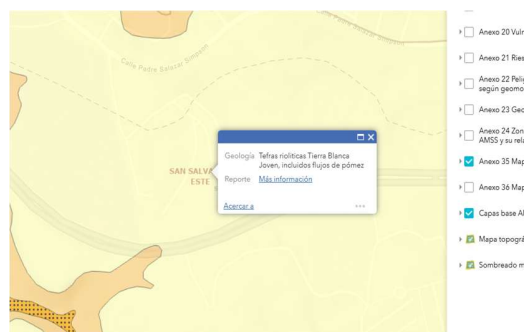


Fig. 2. Características del suelo de la zona. Fuente [5].

Según la OPAMSS los suelos en el área de Soyapango son de origen volcánico y de flujos de pómez que lo hacen poco conductor térmico. [5]

Este tipo de análisis es crucial para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas climatización pasiva, especialmente en entornos urbanos donde las condiciones del subsuelo pueden variar significativamente en distancias cortas. En el distrito de Soyapango en el municipio de San Salvador, El Salvador, que de acuerdo con el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) los promedios de temperatura en la zona son de entre 22.5 a 25.0°. Estas condiciones climáticas combinadas con las propiedades térmicas del suelo ofrecen una oportunidad favorable para el diseño de sistemas geotérmicos eficientes.

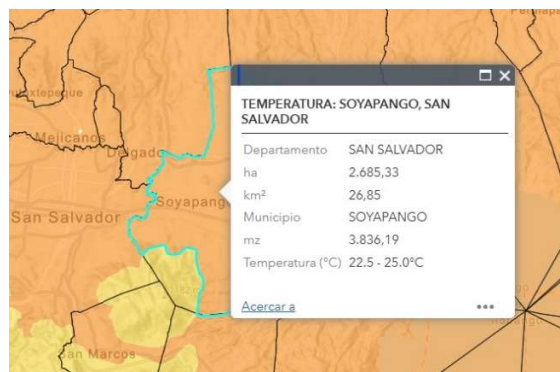


Fig. 3. Proyección de temperatura de la zona. Fuente [6].

IV. CLIMA LOCAL

El Salvador, al igual que otros países de la región centroamericana, se enfrenta a los impactos del cambio climático, que se manifiestan en un aumento de la temperatura promedio, los cambios en los patrones de precipitación y eventos climáticos extremos. Sorto, E.J. (2020). [7]

Las variaciones climáticas, pueden afectar la eficiencia de los pozos de baja entalpía, ya que la temperatura del subsuelo puede verse influenciada

por las fluctuaciones de la temperatura del aire y la infiltración del agua cuando llueve copiosamente y cuando no llueve, siendo ambos escenarios propios del cambio climático.[8]

A pesar de estos desafíos, los pozos de baja entalpía pueden ofrecer una solución eficiente y sostenible para la climatización de edificios en San Salvador, especialmente en el contexto de un clima cada vez más cálido. La estabilidad de la temperatura del subsuelo permitiría mantener condiciones de confort térmico con un menor consumo de energía eléctrica en comparación con los sistemas de climatización convencionales.

A. Énfasis en el Incremento de la Temperatura y la Eficiencia:

El incremento de la temperatura ambiental en San Salvador, como consecuencia del cambio climático, genera una mayor demanda de energía para la climatización de edificios. Los sistemas de aire acondicionado convencionales, que dependen de la temperatura del aire exterior, se vuelven menos eficientes y consumen más energía en condiciones de altas temperaturas.

La caracterización del suelo es un paso fundamental para la implementación exitosa de pozos de baja entalpía en El Salvador. Los estudios geotécnicos y geofísicos detallados, junto con un análisis de los impactos del cambio climático, permitirán diseñar sistemas eficientes y sostenibles que contribuyan a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de San Salvador.

Los pozos de baja entalpía, al aprovechar la temperatura estable del subsuelo, pueden mantener una alta eficiencia energética incluso en condiciones de altas temperaturas ambientales. Esto se traduce en un menor consumo de energía, menores costos operativos y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

V. METODOLOGÍA.

B. Instrumento de medición

Las mediciones de temperatura se realizaron utilizando un termómetro tipo "Soil Meter". Este instrumento fue seleccionado por ser el único disponible durante la fase de levantamiento de datos. Si bien presenta limitaciones en comparación con sensores digitales de mayor precisión o sistemas automatizados, permitió desarrollar una caracterización práctica del comportamiento térmico del suelo.

Entre las principales limitaciones identificadas, destaca el hecho de que el instrumento presenta una

lectura absoluta sin decimales, lo que implica un margen de error estimado de $\pm 1^\circ\text{C}$.



Fig. 4. Instrumento de medición

Para verificar el margen de error del instrumento utilizado, se realizó una comparación puntual con un Visual IR Thermometer de la marca Fluke, el cual posee una mayor precisión y capacidad de lectura digital. La medición se llevó a cabo en superficie, bajo condiciones controladas, donde ambos instrumentos se sometieron al mismo entorno térmico. El termómetro Fluke registró una temperatura de 33.9°C , mientras que el "Soil Meter" marcó 33°C , lo que representa una diferencia de 0.9°C . Esta comparación permitió establecer un punto de referencia práctico del error sistemático del instrumento principal, reafirmando la estimación de un margen de $\pm 1^\circ\text{C}$ en las lecturas realizadas durante la campaña de medición.



Fig. 5. Comparación de instrumento: Cámara Fluke



Fig. 6. Comparación de instrumento: Soil meter

El procedimiento de medición implicó el ingreso físico a un pozo de registro, donde se insertaba el instrumento a las profundidades requeridas. Donde el espacio era reducido, la humedad del entorno y el tiempo requerido para que el sensor alcanzara la temperatura de equilibrio (entre 2 y 3 minutos por punto) complicaban la cantidad de mediciones. Se estableció una rutina de cuatro mediciones diarias en horarios puntuales, lo que permitió equilibrar la viabilidad operativa con la representatividad térmica de los datos.



Fig. 7. Vista interna del pozo de registro.

C. Horarios de medición

La medición se extendió durante una semana completa, registrando temperaturas en cuatro momentos del día (9:00, 11:00, 13:00 y 15:00 horas), y a distintas profundidades: superficie, 1 m, 2 m y 3 m. Esta frecuencia horaria se diseñó con base en principios de transferencia de calor, considerando que el suelo presenta una alta inercia térmica: a medida que aumenta la profundidad, las variaciones de temperatura son más atenuadas y responden con mayor lentitud a los cambios externos.

Se priorizó el intervalo entre las 9:00 y las 15:00 horas por ser la franja con mayor incidencia de radiación solar, lo cual permite observar el efecto térmico más significativo en la superficie y en las capas más profundas. Esta estrategia resulta coherente con la literatura técnica, como lo indican Arenas Sánchez y Zapata Castaño (2011), quienes definen la irradiancia como la potencia instantánea de radiación solar por unidad de superficie (W/m^2), y la irradiación como la acumulación de dicha energía a lo largo del tiempo (Wh/m^2 o J/m^2). Aunque este estudio no contempló la medición directa de irradiancia, se infiere que la distribución térmica vertical en el suelo presenta un desfase y una atenuación respecto al perfil diario de radiación.

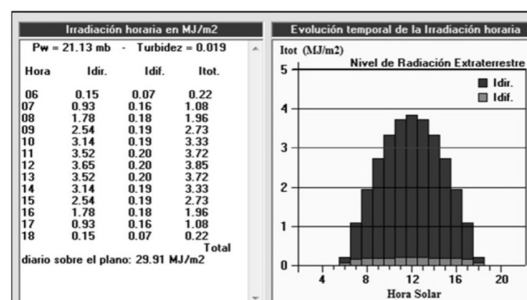


Fig. 8. Comparación entre Intensidad de radiación directa e intensidad de radiación difusa sobre San Salvador software Geosol V2.0. Fuente: [9].

D. Tablas y gráficos de la medición

En la tabla siguiente se muestran los datos recogidos de temperatura, la tendencia es que en la medida que se baja a razón de 1 metro la temperatura parece llegar a una estabilización cercada a los 26° Celsius por las mañanas y al final del día, en este estudio faltó ver el comportamiento en horas de la madrugada y noche, pero todo indica que no varían mucho.

TABLA II. DATOS DE LA MEDICIÓN

Hora	Profundidad	Temperatura por Días (°C)					
		X	J	V	L	M	X
9 AM	0.1m	28	26	28	28	29	29
	1m	27	26	27	27	27	28
	2m	27	26	26	26	27	27
	3m	26	26	26	26	26	26
11 AM	0.1m	40	37	42	43	39	37
	1m	31	31	32	32	33	33
	2m	30	30	31	31	30	30
	3m	29	29	30	30	29	28
2 PM	0.1m	33	34	31	31	33	34
	1m	30	28	29	29	30	31
	2m	29	27	28	28	29	29
	3m	28	26	27	26	28	27
5 PM	0.1m	28	28	30	28	28	29
	1m	28	27	29	27	28	28
	2m	27	26	28	27	27	27
	3m	26	26	27	26	26	26

A medida que el día transcurre se puede apreciar como la superficie del suelo se calienta y que hay un gradiente de temperatura que está presente, siendo mayor en el intervalo de las 11 am a las 2 pm, que son los puntos de mayor insolación. Se destaca que hay momentos en que la temperatura llega a los 43 grados a nivel superficial y que el gradiente de temperatura entre la superficie y los 3

metros de profundidad, en ese instante era de más de 10 grados de diferencia. Esto lo podemos ver en la Fig. 1.

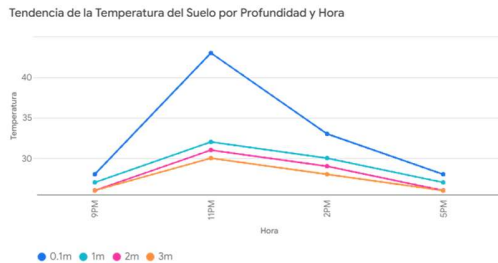


Fig. 9. Tendencia de la temperatura del suelo por profundidad y hora

Uno de los grandes mitos era determinar cuál era la temperatura del subsuelo y si esta puede ser lo suficiente para que funcione un sistema de baja entalpía y efectivamente si lo es, lo malo, es que, a 3 metros de profundidad [6], todavía la temperatura no es lo suficientemente estable como para garantizarnos que el gradiente será lo adecuadamente bajo para poder generar un mayor confort térmico recomendado por la Universidad de Berkeley [10]. En el gráfico siguiente bajo las condiciones de 70% de humedad y 27 grados de temperatura se consigue estar dentro de los rangos.

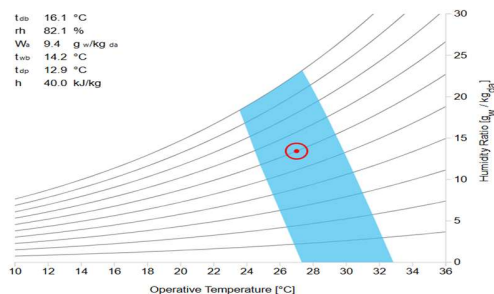


Fig. 10. Gráfica de zona de confort térmico. Fuente: [11].

E. Resultados.

En la fig. 9, podemos ver el comportamiento de la temperatura a una profundidad de tres metros en una semana, donde se puede apreciar cómo cambian la temperatura en un subsuelo y que nos indica que el mismo no es tan estable como se le espera, por lo que será necesario que en terrenos donde el origen es volcánico y con poca humedad se tienda a cavar más abajo para encontrar mayor estabilidad de la temperatura, esto nos podría dar las condiciones más aceptables para la climatización con este tipo de metodología.

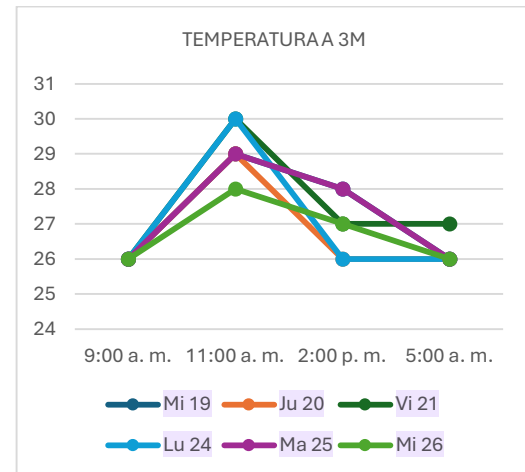


Fig. 11. Gráfico la temperatura a 3 metros de profundidad

Si bien, del ejercicio podemos ver el comportamiento de lo que fue la temperatura en esos días, en el gráfico 3, podemos ver con detalle que el clima estuvo bastante alto.

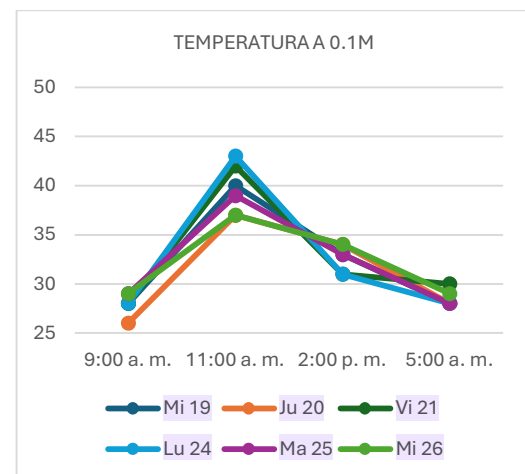


Fig. 12. Gráfico la temperatura a 0.1 metros de profundidad

VI. CONCLUSIONES

El estudio confirma que existe un intercambio de calor significativo en el subsuelo, siendo evidente que se mantiene una menor temperatura que la superficie. Esto se puede aprovechar en los pozos geotérmicos de baja entalpía como climatización pasiva. Sin embargo, en terrenos con sedimentos volcánicos y de baja humedad a los 3 metros la estabilidad del terreno no está garantizada en todos los casos.

Para que un pozo de baja entalpía sea viable debe presentar abundante humedad, buena ventilación

natural y preferentemente que tenga una sombra superficial, lo cual va a favorecer para que el gradiente bajo y estable. Ya que esto será relevante especialmente en momentos donde hay más radiación solar. Cuanto menor sea la variación térmica del subsuelo será mayor la capacidad del sistema para mantener temperaturas internas confortables.

REFERENCIAS

- [1] L. Iannelli *et al.*, "La tierra como acondicionador natural de ambientes", 1er Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía, 2013.
- [2]
- [3] L. García *et al.*, "Caracterización de condiciones meteorológicas en El Salvador," SNET.
- [4] J. M. Cuevas and V. González Penella, "Propiedades térmicas de los suelos," 2008.
- [5] OPAMSS, "Mapa geológico y térmico del área de Soyapango," <https://geovisor.opamss.org.sv>
- [6] CENTA, "Proyección de temperatura del suelo en el área de Soyapango," El Salvador.
- [7] E. J. Sorto, "Impacto del cambio climático en la salud de El Salvador," *Crea Ciencia*, 2020.
- [8] T. E. Ochsner *et al.*, "A New Perspective on Soil Thermal Properties," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 65, pp. 1641–1647, 2001.
- [9] M. Huezo and A. Morán, "Geosol V2.0," 2012.
- [10] University of California, Berkeley, "Thermal comfort and soil temperature data," <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- [11] Cymper, "Curva de temperatura estacional del subsuelo," <https://www.cymper.com/blog>