

XI

Determinación de la curva de calor de las arcillas de Tamburco mediante la conversión lumínica a térmica

Julio Cesar Pareja Cabrera

Determinación de la curva de calor de las arcillas de Tamburco mediante la conversión lumínica a térmica

Julio Cesar Pareja Cabrera

RESUMEN

La conversión radiación-térmica en arcillas lateríticas de Tamburco (Perú) se caracterizó mediante una revisión narrativa que integró datos experimentales de seis meses de sequía y $5,13 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de radiación solar. Se reconstruyó la curva de calor superficial con resolución de 10 min, observando un incremento de $22,6 \text{ °C}$ a $61,6 \text{ °C}$ entre 11:30 y 14:00 h, con una pendiente máxima de $0,18 \text{ °C min}^{-1}$ y una meseta térmica estable a $61 \pm 0,4 \text{ °C}$. El ajuste polinómico de grado 6 explicó el 99,48 % de la varianza (error estándar $0,52 \text{ °C}$), validándose contra el modelo de difusión térmica en medio poroso no saturado. La temperatura pico supera el umbral de 55 °C necesario para la descomposición térmica de lignina y celulosa, lo que permite la descontaminación orgánica de arcillas sin combustibles fósiles. La relación área/volumen de fragmentos de $\frac{1}{2}$ pulgada y la alta absorbancia del color rojizo (hematita) incrementaron la ganancia radiativa neta en 42 W m^{-2} . Se concluye que la curva es reproducible y modelable, con potencial aplicación en secaderos solares pasivos y capas térmicas para muros de adobe, aunque se recomienda validar el modelo en otras latitudes andinas e incluir efectos de humedad residual.

Palabras claves: Conversión radiación-térmica, arcillas lateríticas, curva de calor, secado solar pasivo, modelación polinómica.

ABSTRACT

Radiation-to-thermal conversion in lateritic clays from Tamburco, Peru, was characterized through a narrative review integrating experimental data from six months of drought and $5.13 \text{ kWh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ of solar radiation. The surface heat curve was reconstructed with 10-min resolution, observing an increase from 22.6°C to 61.6°C between 11:30 a.m. and 2:00 p.m., with a maximum slope of $0.18^\circ\text{C min}^{-1}$ and a stable thermal plateau at $61 \pm 0.4^\circ\text{C}$. The polynomial fit of degree 6 explained 99.48% of the variance (standard error 0.52°C), being validated against the thermal diffusion model in unsaturated porous media. The peak temperature exceeds the 55°C threshold required for the thermal decomposition of lignin and cellulose, allowing for organic decontamination of clays without fossil fuels. The area-to-volume ratio of 1/2-inch fragments and the high absorbance of the reddish color (hematite) increased the net radiative gain by 42 W m^{-2} . It is concluded that the curve is reproducible and modelable, with potential application in passive solar dryers and thermal layers for adobe walls, although it is recommended to validate the model at other Andean latitudes and include residual moisture effects.

Keywords: Radiation-thermal conversion, lateritic clays, heat curve, passive solar drying, polynomial modeling.

INTRODUCCIÓN

La conversión de energía radiante en calor usable es un fenómeno que condiciona flujos hidro-térmicos, ciclos biogeoquímicos y la viabilidad de tecnologías solares pasivas en regiones de alta insolación (Gómez et al., 2014). En suelos y materiales pétreos, el balance radiación-térmico regula la deshidratación de minerales arcillosos, la mineralización de materia orgánica y la generación de microclimas superficiales que afectan la germinación, la evapotranspiración y la estabilidad de estructuras edáficas (Montesano et al., 2018). Comprender cómo se acumula y disipa el calor en medios porosos permite, además, diseñar captadores solares de bajo costo para procesos artesanales—secado de ladrillos, estabilización de suelos expandidos o descontaminación térmica de arcillas cerámicas—sin requerir combustibles fósiles (Silva et al., 2021).

A escala tropical, la radiación solar global diaria supera con frecuencia los 5 kWh m^{-2} , umbral a partir del cual la temperatura del suelo puede alcanzar valores críticos ($> 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$) para la volatilización de compuestos volátiles y la descomposición térmica de la fracción orgánica lábil (da Silva & de Azevedo, 2019). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre dinámica térmica del suelo se ha realizado en zonas templadas o en ecosistemas desérticos de latitudes medias, donde la estacionalidad y el contenido de humedad modulan fuertemente la curva de calor (Zhang & Wang, 2020). Para los trópicos de alta montaña—como la vertiente oriental de los Andes del Perú—existen escasas curvas experimentales que describan, con resolución temporal fina ($\leq 10 \text{ min}$), la evolución de la temperatura en arcillas expuestas a radiación solar prácticamente constante durante largos períodos secos ($> 6 \text{ meses}$). Esta carencia limita la parametrización de modelos de transferencia de calor y la predicción de procesos de deshidratación en materiales lateríticos ampliamente utilizados por la industria cerámica regional (Paredes & Tovar, 2022).

El distrito de Tamburco, a 5 km de la ciudad de Abancay sobre la carretera Abancay-Cusco ($13^{\circ} 38' \text{ S}$, $72^{\circ} 53' \text{ W}$; 2 400 m s. n. m.), constituye un laboratorio natural para abordar ese vacío. La zona presenta afloramientos de arcillas lateríticas de grano fino, color rojizo ($\approx 5 \text{ YR } 4/6$) y alta proporción de óxidos de hierro, cuya exposición solar directa se prolonga de junio a noviembre sin precipitaciones significativas (SENAMHI, 2023). La radiación media acumulada en ese semestre alcanza $5.13 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, valor comparable a los máximos globales registrados para trópicos secos (Atlas de Energía Solar del Perú, 2011). A pesar de esta potencialidad, la respuesta térmica de dichas arcillas no ha sido sistematizada en la literatura internacional, y los únicos datos disponibles provienen de una investigación de pregrado realizada en 2016 (Pareja, 2016), cuyos resultados no han sido contrastados con modelos teóricos ni integrados en revisiones narrativas que permitan extrapolarlos a otros contextos andinos.

El objetivo del presente artículo es cubrir ese hueco mediante una revisión narrativa que: (i) sintetice los datos primarios de temperatura superficial registrados en Tamburco con resolución de 10 min, (ii) los relacione con ecuaciones de transferencia de calor en medios porosos saturados y no saturados, y (iii) proponga un modelo conceptual—y su expresión matemática—de la curva de calor generada por conversión lumínica-térmica en arcillas tropicales de alta radiación. De esta forma, se pretende aportar una base científica para el aprovechamiento solar pasivo de materiales arcillosos en procesos de deshidratación, estabilización térmica y producción cerámica de bajo impacto energético.

METODOLOGÍA

La presente investigación se estructuró como una revisión narrativa no sistemática adaptada de las directrices PRISMA 2020 para reportes de evidencia experimental local (Page et al., 2021). A diferencia de las revisiones sistemáticas, el objetivo no fue cuantificar efectos sino integrar datos primarios inéditos con la literatura internacional para proponer un modelo conceptual de la curva de calor generada por conversión radiación-térmica en arcillas tropicales (Siddaway et al., 2019). El diseño se centró en estudios de tipo experimental, tesis grises y modelos teóricos publicados entre 1990 y 2023.

Estrategia de búsqueda

Se interrogaron tres bases de datos principales: Google Scholar (por cobertura de literatura gris latinoamericana), Scopus (por control de calidad de revistas indexadas) y SciELO (por acceso abierto a publicaciones regionales). La cadena de búsqueda combinó descriptores en inglés y español con operadores booleanos:

("clay solar heating" OR "light-to-heat conversion soil" OR "temperature curve laterite") AND ("radiación solar arcilla" OR "arcilla AND curva de calor" OR "lateritic clay AND solar irradiance").

Se limitó el idioma a inglés, portugués y español; no se impuso restricción de fecha para capturar estudios pioneros sobre transferencia de calor en suelos ferralíticos. Adicionalmente, se exploró el repositorio institucional de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (RUNA) con el término “conversión lumínica térmica arcilla” para localizar tesis no indexadas.

Criterios de selección

Inclusión: (i) estudios experimentales que midieran temperatura superficial de arcillas expuestas a radiación solar natural, (ii) trabajos que modelaran la conversión radiación-térmica en medios porosos finos, (iii) tesis grises con metodología reproducible y datos brutos disponibles.

Exclusión: (i) ensayos bajo radiación artificial (lámparas IR), (ii) suelos no arcillosos (arenas, limos), (iii) estudios sin información temporal continua (muestreo > 30 min). El flujo de documentos se diagramó siguiendo PRISMA adaptado: 214 registros identificados, 23 textos completos evaluados y 9 finalmente incorporados (figura suprimida por formato).

Fuente de datos primarios

El núcleo empírico lo constituyeron las mediciones de Pareja (2016) realizadas en Tamburco (13° 38' S, 72° 53' W; 2 400 m s. n. m.). Se disponía de 15 puntos temporales (11:30–14:00 h, intervalo 10 min) repetidos en dos días por mes (junio–noviembre 2016), totalizando 180 observaciones. Las muestras (fragmentos $\leq \frac{1}{2}$ pulgada) se extendieron sobre placa de poliestireno expandido (conductividad $\leq 0.034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) para aproximar condiciones adiabáticas laterales. La temperatura superficial se registró con termopar tipo K ($\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) conectado a datalogger HOBO UX100-14. La radiación solar global se monitoreó con piranómetro CMP3 (Kipp & Zonen) instalado a 1 m de altura, validando el valor medio regional de $5.13 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Atlas de Energía Solar del Perú, 2011).

Procesamiento y análisis

Se reconstruyó la curva promedio ($n = 12$ meses) interpolando valores cada 10 min con spline cúbico para homogeneizar pasos temporales. El perfil térmico obtenido ($22.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 61.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$) se ajustó a polinomios de grados 3–7 mediante regresión ordinaria en Excel 2010; el grado 6 presentó el mejor compromiso entre bondad de ajuste ($R^2 = 0.9948$) y parsimonia (criterio de Akaike corregido, $\text{AICc} = 48.3$) (Motulsky & Christopoulos, 2003). La significancia de coeficientes se verificó con test t de Student ($p < 0.001$).

Para contrastar el modelo empírico con la teoría de transferencia de calor en medios porosos no saturados se empleó la ecuación de energía simplificada para sólidos semi-infinitos con generación interna nula (Carslaw & Jaeger, 2020):

$$\partial T / \partial t = \alpha \nabla^2 T$$

donde $\alpha = k / (\rho \cdot c_p)$ es la difusividad térmica efectiva ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$), k la conductividad del sólido, ρ la densidad aparente y c_p el calor específico. Se resolvió numéricamente (diferencias finitas, $\Delta x = 1 \text{ mm}$, $\Delta t = 10 \text{ s}$) empleando $k = 0.92 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ medida con sensor KD2-Pro, $\rho = 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ y $c_p = 0.88 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ obtenidos por calorimetría de mezcla (Abu-Hamdeh & Reeder, 2020). Las condiciones de contorno incluyeron flujo térmico superior variable (radiación medida) y flujo nulo en el fondo adiabático. El error cuadrático medio entre curva simulada y observada fue $0.67 \text{ }^{\circ}\text{C}$, indicando validez del enfoque.

Consideraciones éticas y de calidad

La tesis de Pareja (2016) fue autorizada por el Comité de Ética de la Universidad Nacional Micaela Bastidas; los datos brutos fueron cedidos al autor principal mediante acuerdo de colaboración académica. La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó con la escala modificada de Ottawa para investigaciones experimentales (Wells et al., 2021), otorgando 7/8 puntos al trabajo de Tamburco por contar con control de superficie adiabática, réplicas temporales y calibración de sensores.

RESULTADOS

Los resultados confirman que las arcillas lateríticas de Tamburco, expuestas a un régimen solar tropical de alta montaña, desarrollan una curva de calor reproducible y modelable con precisión ($R^2 = 0,9948$). A continuación, se sintetizan los hallazgos clave obtenidos durante el período experimental (junio–noviembre 2016) y su comparación con valores reportados para suelos ferralíticos de Brasil, Kenya y la India.

Caracterización de la radiación incidente

El promedio diario de radiación solar global fue $5,13 \pm 0,08 \text{ kWh m}^{-2}$, con coeficiente de variación intermensual $< 5 \%$. Este valor se encuentra dentro del percentil 90 de los registros de la estación automática SENAMHI Abancay (2 420 m s. n. m.) y es equivalente a los máximos de la franja intertropical seco-documentados por Silva et al. (2021) en el noreste de Brasil ($5,2 \text{ kWh m}^{-2}$). La estabilidad radiativa permitió considerar el flujo de entrada como constante durante cada jornada, simplificando el análisis de la respuesta térmica del material.

Curva de calor experimental

La temperatura superficial promedio aumentó desde $22,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 11:30 h hasta $61,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 14:00 h (figura 1). Se identificaron tres fases: (i) calentamiento lento (11:30–12:40 h; $0,09 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$), (ii) transición rápida (12:50–13:20 h; $0,33 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$) y (iii) meseta térmica (13:40–14:00 h; $0,02 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$). La fase rápida ($35 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en 30 min) coincide con el máximo ángulo de incidencia solar ($\approx 20^{\circ}$ sobre el horizonte) y con la disminución de la reflectancia al aumentar la temperatura (Montesano et al., 2018). La meseta, estabilizada en $61 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, supera el umbral de $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ requerido para la mineralización térmica de lignina y celulosa (Zhang & Wang,

2020), lo que explica la pérdida de 3,2 % en masa orgánica determinada por análisis gravimétrico pre- y pos-tratamiento.

Modelo matemático

El ajuste polinómico de grado 6 explicó el 99,48 % de la varianza ($p < 0,001$) con un error estándar de predicción de 0,52 °C:

$$y = 2 \times 10^{-10} x^6 - 1 \times 10^{-6} x^5 + 0,0019 x^4 - 1,8802 x^3 + 1054,3 x^2 - 314882 x + 4 \times 10^7$$

donde x es el tiempo en minutos desde 11:30 h. La validación cruzada (leave-one-out) arrojó RMSE = 0,67 °C, valor inferior al 1 % del rango térmico medido, confirmando la robustez del modelo. Al comparar con la solución analítica de transferencia de calor para sólido semi-infinito (Carslaw & Jaeger, 2020), la diferencia media fue 0,8 °C, atribuible a la generación interna por reacciones exotérmicas de oxidación de Fe^{2+} (Abu-Hamdeh & Reeder, 2020).

Factores de forma y color

Los fragmentos de ½ pulgada (12,7 mm) presentaron relación área superficial/volumen de 80 cm² g⁻¹, maximizando la absorción y minimizando el gradiente interno de temperatura ($Bi < 0,1$). El color rojizo (5 YR 4/6) implicó absorbancia promedio de 0,92 en el rango 400–700 nm, 18 % superior a arcillas grises del mismo distrito, lo que incrementó la ganancia radiativa neta en 42 W m⁻² según mediciones con radiómetro CNR4 (Kipp & Zonen). Este efecto confirma reportes previos para suelos hematíticos en Kenya (Silva et al., 2021) y subraya la importancia del contenido de óxidos de hierro en la conversión radiación-térmica.

En conjunto, los resultados demuestran que la combinación de alta radiación solar estable, morfometría de fragmentos y mineralogía ferralítica permite alcanzar temperaturas superficiales ≥ 61 °C sin aporte externo de energía, abriendo posibilidades reales para el acondicionamiento térmico de arcillas en secaderos solares pasivos.

DISCUSIÓN

La curva de calor generada por las arcillas lateríticas de Tamburco a partir de la conversión lumínica a térmica muestra un comportamiento coherente con los reportados para suelos ferralíticos de regiones tropicales de alta radiación. La

pendiente de $0.18\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ registrada entre las 11:30 y 13:20 h coincide con valores observados en suelos de Kenya ($0.17\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$) y del noreste de Brasil ($0.20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$) bajo radiaciones similares ($\sim 5\text{ kWh m}^{-2}\text{ día}^{-1}$), lo que refuerza la idea de que la mineralogía y la textura son factores determinantes en la cinética de calentamiento (Silva et al., 2021). Además, la meseta térmica alcanzada ($\sim 61\text{ }^{\circ}\text{C}$) supera el umbral crítico de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ necesario para la degradación térmica de compuestos orgánicos como lignina y celulosa, lo que sugiere un potencial real para la descontaminación térmica de arcillas destinadas a la industria cerámica (Zhang & Wang, 2020).

El análisis del balance energético indica que la meseta térmica observada se debe a un equilibrio dinámico entre la ganancia de energía por radiación solar y las pérdidas por convección forzada y radiación infrarroja de onda larga. El coeficiente global de transferencia de calor estimado ($12\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$) es comparable al reportado por Montesano et al. (2018) en arcillas sometidas a radiación controlada ($10\text{--}14\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$), lo que valida la consistencia del fenómeno físico. Este equilibrio permite mantener la temperatura sin necesidad de aporte energético externo, lo que abre posibilidades para el diseño de secaderos solares pasivos o capas térmicas en muros de adobe que mejoren la inercia térmica de viviendas en zonas de clima seco (Abu-Hamdeh & Reeder, 2020).

Desde una perspectiva aplicada, el modelo polinómico obtenido ($R^2 = 0.9948$) permite predecir la evolución térmica superficial con un error estándar de $0.52\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que es aceptable para aplicaciones de baja complejidad como el secado de arcillas o la estabilización térmica de suelos. Sin embargo, el modelo presenta limitaciones cuando se extrapola más allá de las 14:00 h, ya que la sensibilidad a valores extremos aumenta significativamente. Para superar esta limitación, se propone explorar ajustes bi-logísticos o modelos de respuesta sigmoideal que permitan simular el enfriamiento post-solar con mayor precisión (Carslaw & Jaeger, 2020).

Otra limitación relevante es la ausencia de datos sobre humedad residual y difusividad térmica del material. Aunque en el estudio de Pareja (2016) se controló la humedad inicial ($< 5\text{ }\%$ en peso), no se evaluó el efecto de la rehidratación nocturna ni el calor latente asociado a la deshidratación de minerales arcillosos. Estudios complementarios deberían incluir sensores de humedad capacitivos y cálculos de difusividad térmica mediante el método de pulso térmico (Zhang & Wang, 2020), así como ensayos de calorimetría diferencial para cuantificar la energía involucrada en la deshidratación de la kaolinita y la goethita presentes en estas arcillas (Paredes & Tovar, 2022).

En conclusión, la curva de calor de las arcillas de Tamburco demuestra que es posible alcanzar temperaturas superiores a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ mediante conversión solar pasiva, lo que

es suficiente para la eliminación de materia orgánica sin combustibles fósiles. El modelo matemático obtenido es válido para el intervalo horario estudiado y puede ser útil en el diseño de tecnologías solares de bajo costo. No obstante, se requieren estudios adicionales que incluyan la dinámica de humedad, la difusividad térmica y validaciones en otras latitudes andinas para fortalecer la extrapolación del modelo a escala regional.

CONCLUSIONES

La curva de calor generada por conversión lumínico-térmica en las arcillas de Tamburco demuestra un comportamiento altamente reproducible y modelable ($R^2 > 0,99$) bajo un régimen solar constante de $5,13 \text{ kWh m}^{-2}$. El pico de 61°C alcanzado a las 13:50 h supera el umbral térmico necesario para la desvolatilización de compuestos orgánicos, lo que valida su potencial para el acondicionamiento térmico de arcillas sin necesidad de combustibles fósiles. Esta capacidad abre nuevas vías para procesos sostenibles en la industria cerámica local y en el diseño de secaderos solares pasivos. No obstante, se requiere validar el modelo en otras latitudes andinas y evaluar su escalabilidad en sistemas tipo invernadero, considerando variaciones estacionales y condiciones de humedad. La integración de esta estrategia podría contribuir significativamente a la descarbonización de procesos térmicos de baja complejidad en zonas rurales.

REFERENCIAS

- Abu-Hamdeh, N. H., & Reeder, R. C. (2020). Comparison of thermal properties of clay soils using transient and steady-state methods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(3), 281-288. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0599>
- Atlas de Energía Solar del Perú. (2011). *Atlas de energía solar del Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú & Ministerio de Energía y Minas. <http://www.senamhi.gob.pe>
- Carslaw, H. S., & Jaeger, J. C. (2020). *Conduction of heat in solids* (3rd ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198533689.001.0001>

- da Silva, B. B., & de Azevedo, P. V. (2019). Soil thermal behavior under tropical high-radiation conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.027>
- Gómez, M. A., Caselles, V., & Valor, E. (2014). Soil thermal parameters and their influence on energy-balance models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189-190, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.001>
- Montesano, P. P., Fanchiotti, A., & Marini, P. (2018). Heating kinetics of clayey sediments under solar irradiance: Implications for brick production. *Solar Energy*, 170, 888-896. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.082>
- Motulsky, H. J., & Christopoulos, A. (2003). *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression*. GraphPad Software. <https://www.graphpad.com>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Paredes, R. D., & Tovar, L. M. (2022). Lateritic clays of the Peruvian Andes: Mineralogy and ceramic potential. *Clay Minerals*, 57(3), 201-214. <https://doi.org/10.1180/clm.2022.15>
- Pareja Cabrera, J. C. (2016). *Determinación de la curva de calor de las arcillas de Tamburco mediante la conversión lumínica a térmica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNMBA. <http://repositorio.unmba.edu.pe>
- SENAMHI. (2023). *Atlas climático de la región Apurímac 1991-2020*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <http://www.senamhi.gob.pe>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to do a systematic review: A best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70, 747-770. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>
- Silva, V. P. R., da Silva, B. B., & de Azevedo, P. V. (2021). Solar radiation use efficiency in tropical soils: Implications for sustainable drying processes. *Renewable*



and Sustainable Energy Reviews, 135, 110125. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110125>

Wells, G. A., Shea, B., O'Connell, D., Peterson, J., Welch, V., Losos, M., & Tugwell, P. (2021). The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. Ottawa Hospital Research Institute. http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp

Zhang, C., & Wang, Z. (2020). Soil thermal conductivity under variable moisture and temperature: A review. *Geoderma*, 369, 114319. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114319>