



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Determinación Experimental In Situ de la Difusividad Aparente del Suelo por Desfase de Onda Térmica

Author: Oscar Fernando SILVA AGUILAR

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2017-02
BCIERMIMI Classification (2017): 270917-0201

Pages: 15
Mail: ossilva@uv.mx
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

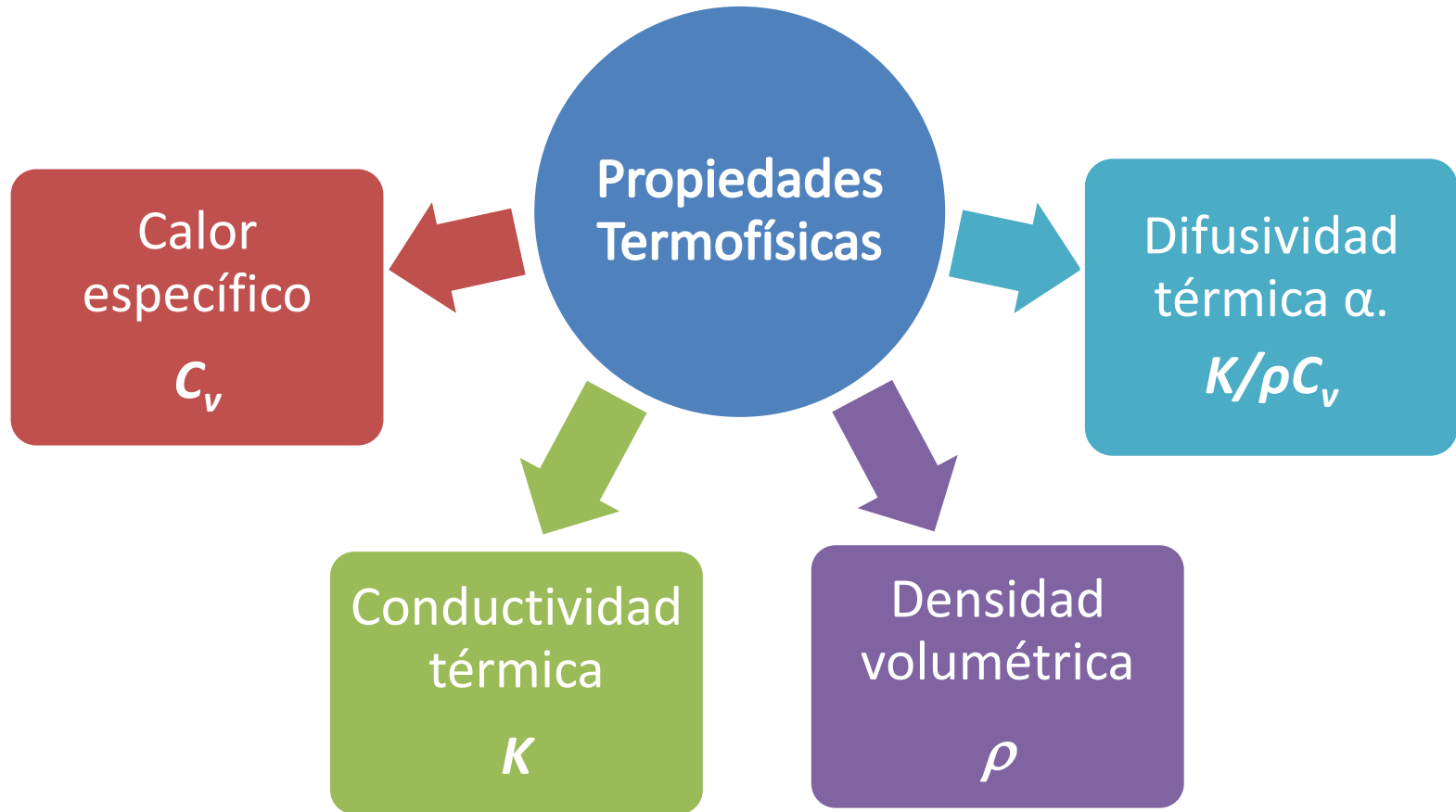
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

Propiedades termofísicas de materiales geológicos



$C_v, K, \rho, \alpha = f(\text{minerales, porosidad y humedad, entre otras})$

Importancia de la determinación de k y α

- No hay tablas que cubran la infinita variedad de suelos
- La conductividad térmica y la difusividad son las propiedades más influyentes en los resultados de transferencia de calor en el subsuelo (*Demir et al., 2009; Florides y Kalogirou, 2005*).

Uso de las propiedades termofísicas

En el campo de sustentabilidad energética y agricultura

- Bombas de calor geotérmicas (GHP)
- Intercambiadores geotérmicos (GHE)
- Relación de temperatura y contenido de humedad en suelos

Técnicas de medición de propiedades termofísicas

Laboratorio

TRAC (Thermal Radiation Calorimetry) (*Hisano et al., 1999*)

Photothermal Radiometry (*Martinsons et al., 2002*)

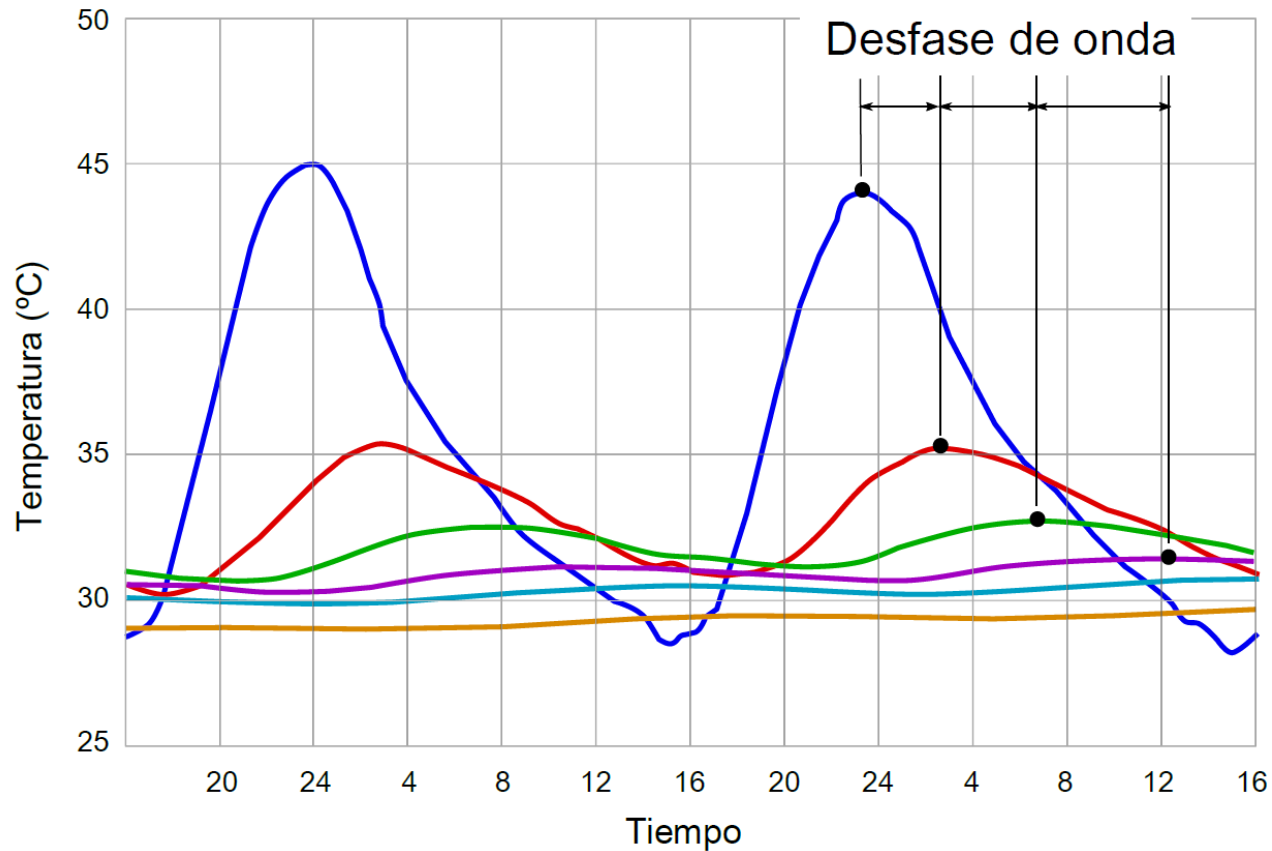
In situ

REKA (Rapid Evaluation of K and Alpha) (*Danko y Mousset-Jones, 2002*)

TRT (Thermal Response Test) (*Ozgener, 2011*)

Método por desfase de onda térmica

Propagación periódica de ondas de temperatura (*Anders Ångström*)



$$\alpha = \frac{z^2}{4\pi P}$$

Desfase

Onda térmica generada por la **variación cíclica de las condiciones climatológicas diurnas**

Fundamento matemático

La ecuación diferencial de Fourier de conducción; **unidimensional, cilindro semi-infinito y estado transitorio**

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \left(\frac{\rho c_v}{k} \right) \frac{\partial T}{\partial t}$$

La solución con la variación periódica de la temperatura (*Carslaw y Jaeger, 1989*).

$$T_U = T_S \times \exp(\varepsilon z) \text{sen}(\omega t - \varepsilon z)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{\pi}{P\alpha} \right)^{1/2}$$

T_u y T_s es la amplitud de las temperaturas a profundidad y en la superficie, la frecuencia ω , periodo P y la profundidad z ; el término ε es función del periodo P y la difusividad α

Si $\varepsilon z = 2\pi$, z representa la profundidad a la que **la fluctuación de temperatura está en fase con el ciclo de la superficie.**

$$z = (4\pi P\alpha)^{1/2}$$

Por lo que

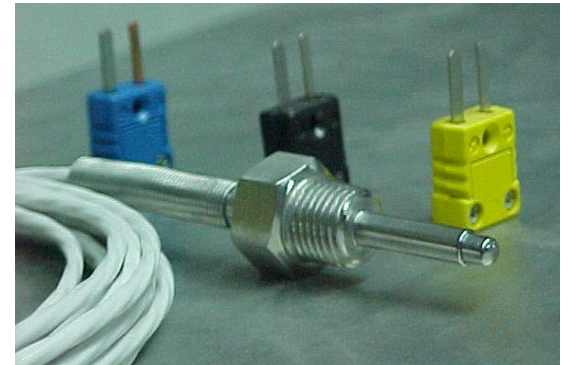
$$\alpha = \frac{z^2}{4\pi P}$$

Equipo experimental



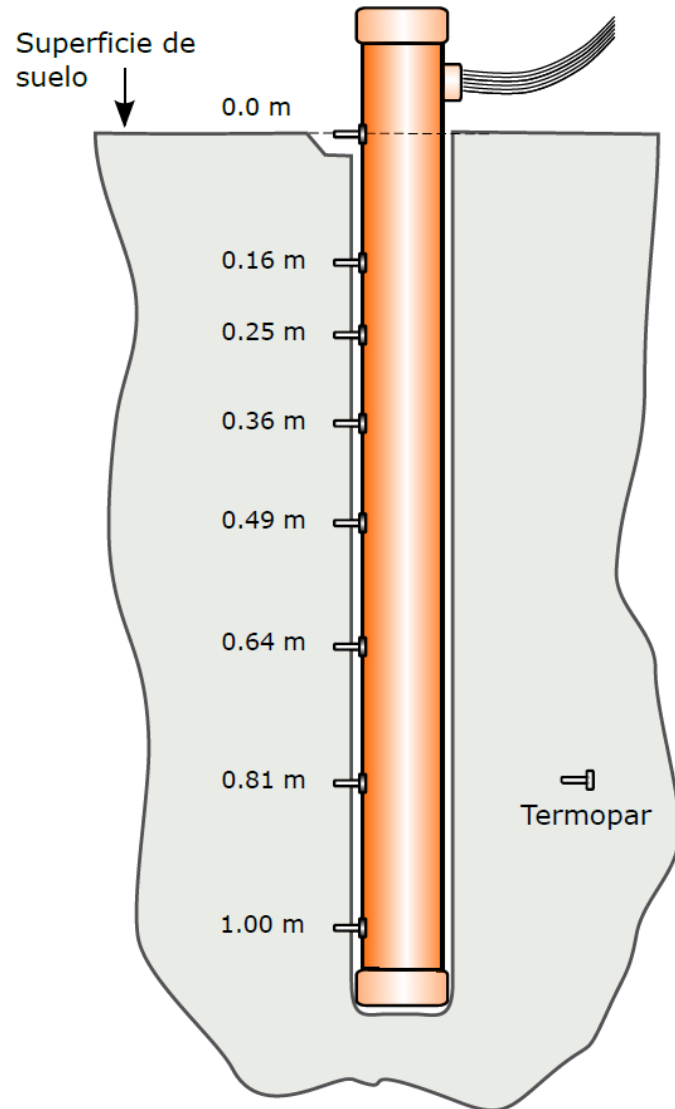
Captura de datos mediante equipo Agilent (modelo 34972A).

Sensores termopares tipo T Cobre–Constantán para un intervalo de 0 a 350 °C, con una exactitud de ± 0.5 °C (datos del fabricante)



Calibrados con equipo AMETEK mod. CTC-140 a rango de -30 °C a 140 °C, con un error de calibración del orden de ± 0.02 °C.

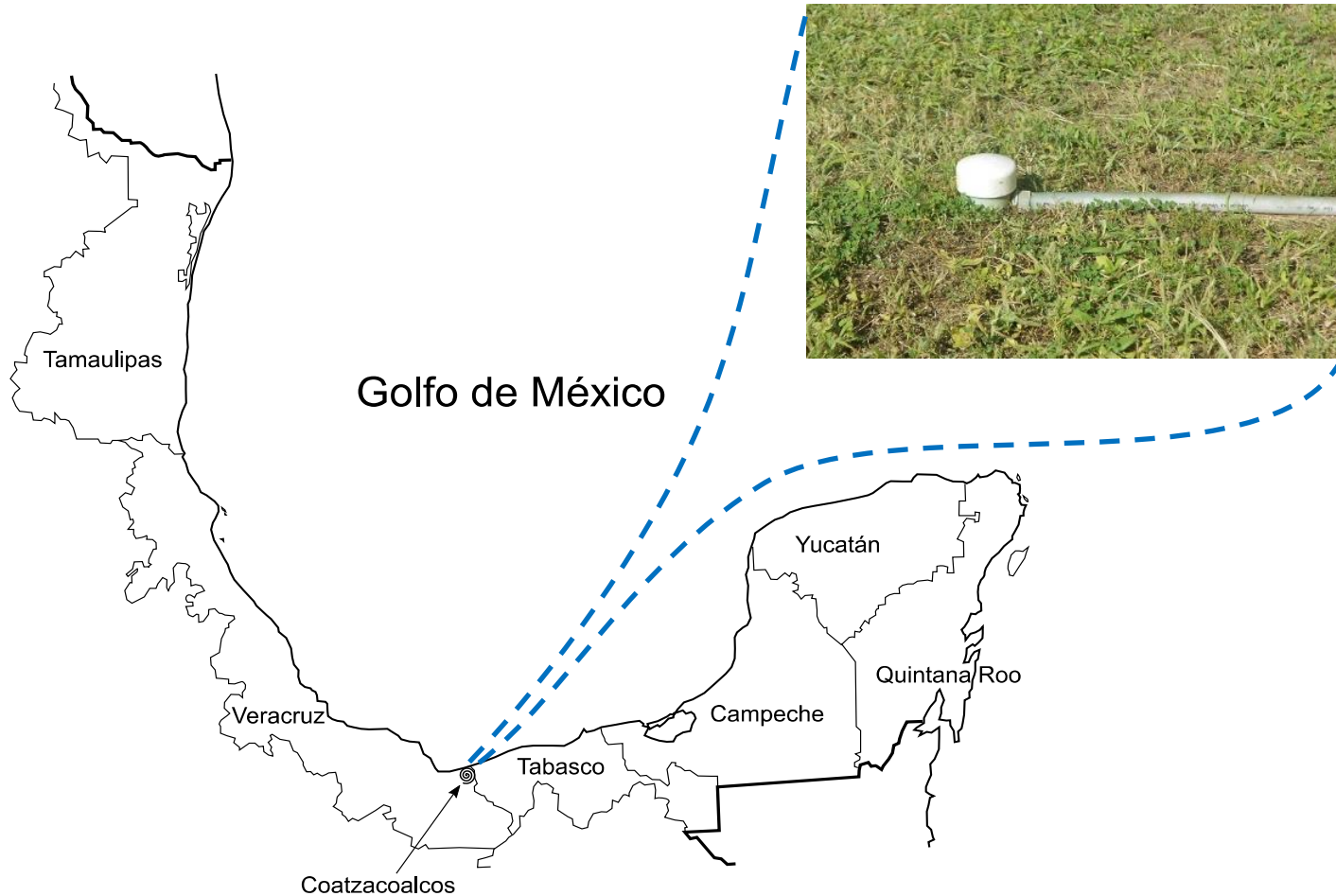
Sonda de medición



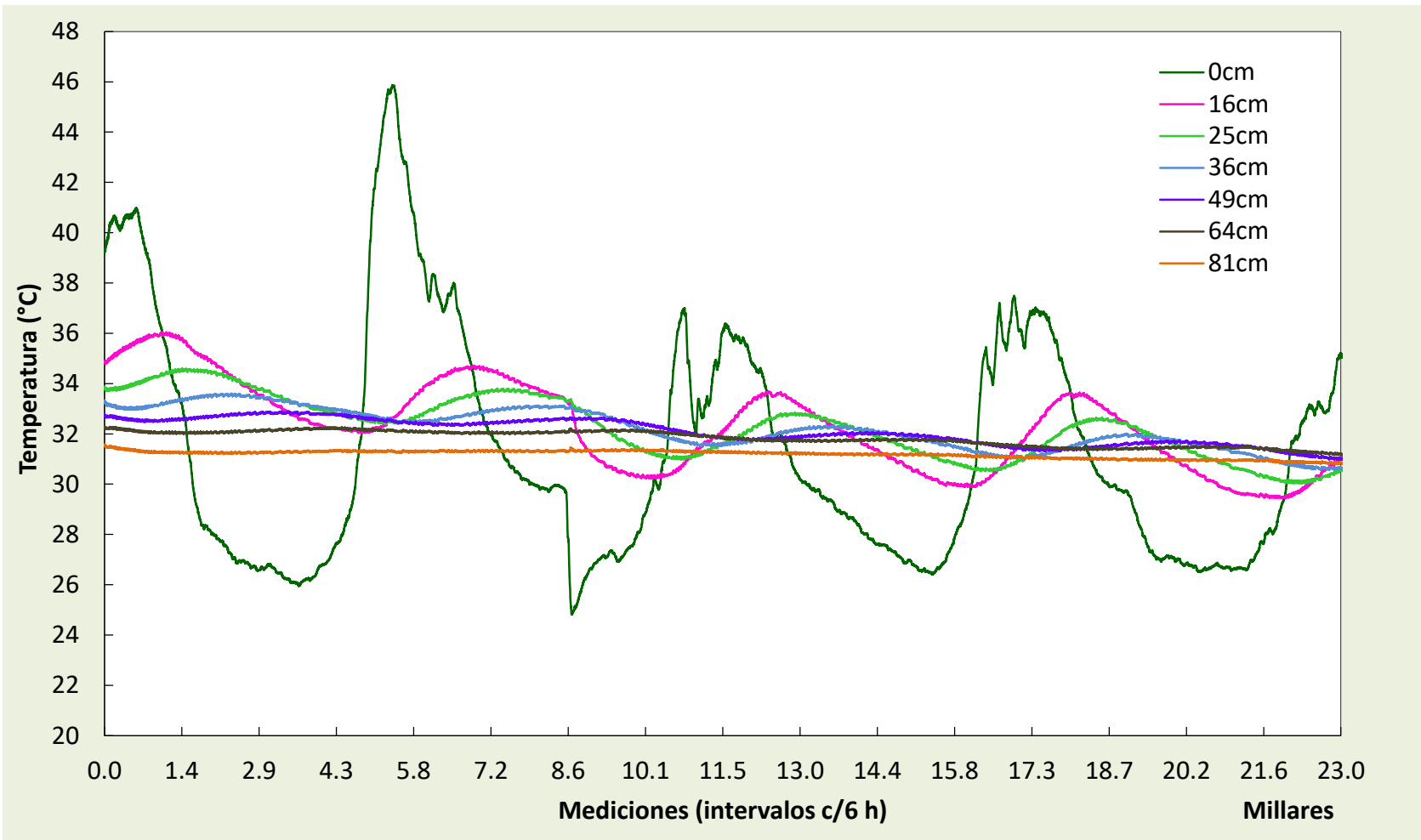
sensores de temperatura localizados a profundidades definidas.

Instalación de sonda de medición.

- Se instaló en el campus Coatzacoalcos de la Universidad Veracruzana

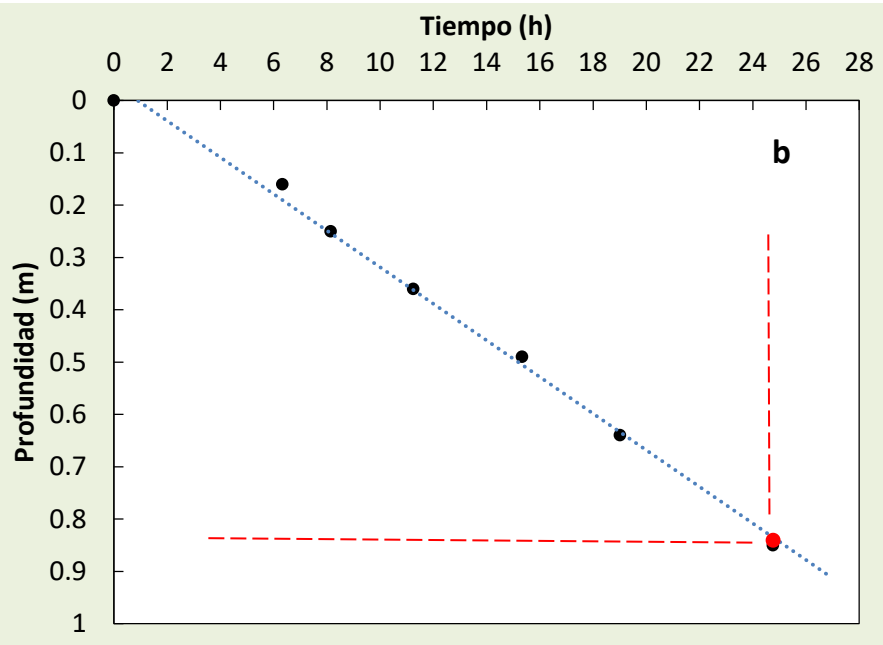


Resultado experimental



Frecuencia de medición: 15 s.

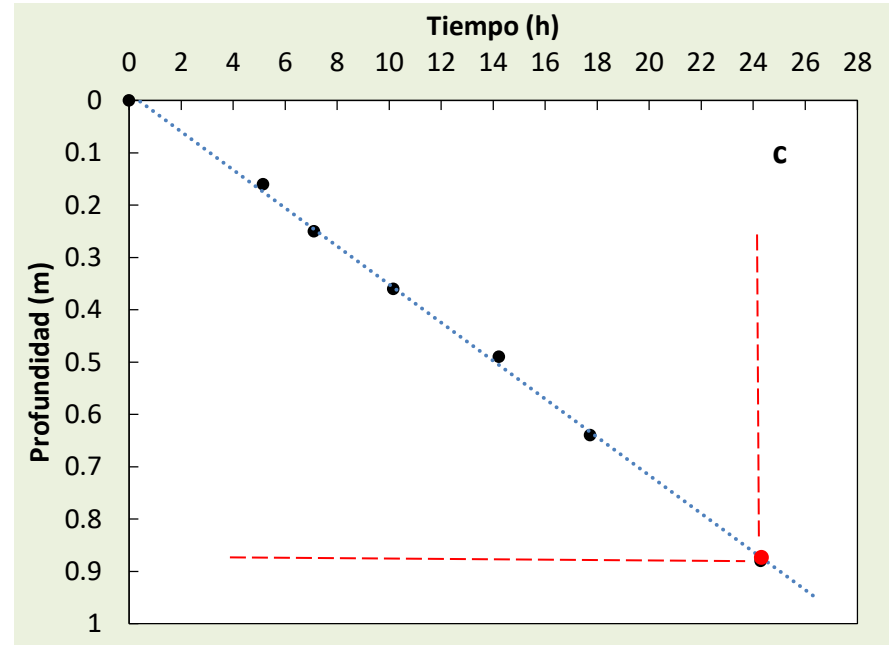
Resultados de regresión lineal experimentos b y c



$$z = 0.7719 + 29.205t$$

$$R^2 = 0.993$$

$$\varepsilon z = 2\pi$$



$$z = 0.3013 + 27.689t$$

$$R^2 = 0.998$$

Propagación de error

El error estándar de la profundidad S_z (Miller y Miller, 2000)

$$S_z = \frac{S_{y/x}}{b} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{b^2 \sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-2)}}$$

La fórmula específica empleada en la propagación de error; exponencial de variables $X = aU^b$ (Bevington y Robinson, 2003)

$$\frac{S_x}{X} \approx b \frac{S_U}{U}$$

$$S_\alpha = \frac{z S_z}{2\pi P}$$

Propagación de error			
Periodo	$S_{x/y}$	S_z	S_α
a	0.683	0.036	5.73×10^{-08}
b	0.647	0.032	5.18×10^{-08}
c	0.357	0.020	3.17×10^{-08}
d	0.769	0.044	7.12×10^{-08}

Determinación de difusividad térmica α

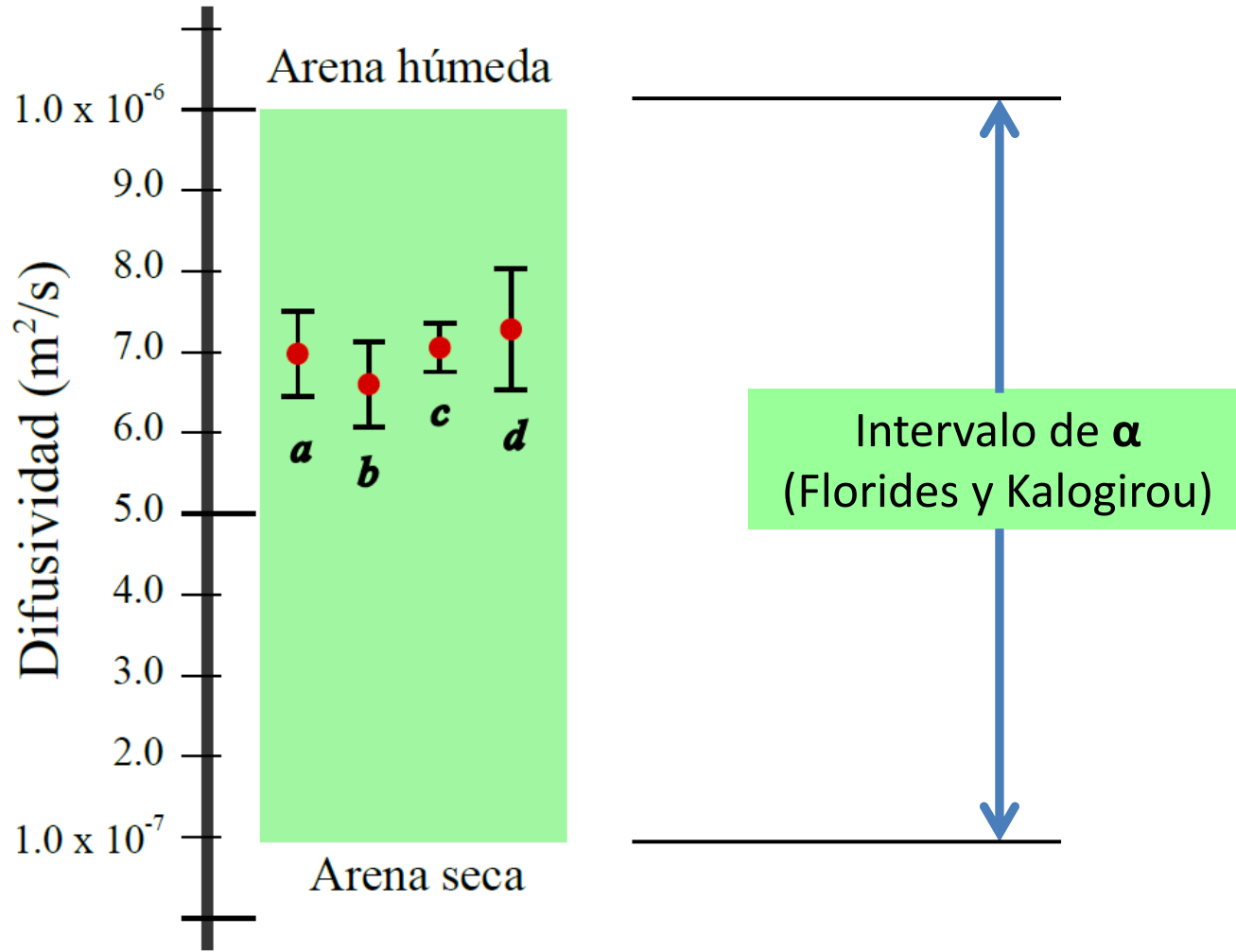
Periodo	Ec. Línea de tendencia	R ²	Profundidad (z) en 24 h (m)
a	$z = 0.9135 + 28.631t$	0.995	0.870
b	$z = 0.7719 + 29.205t$	0.993	0.848
c	$z = 0.3013 + 27.689t$	0.998	0.878
d	$z = 0.0120 + 27.142t$	0.988	0.885

$$\alpha = \frac{z^2}{4\pi P}$$

Periodo	Difusividad α (m ² /s)	Error %
a	$(6.974 \pm 0.6) \times 10^{-7}$	8.22
b	$(6.626 \pm 0.5) \times 10^{-7}$	7.42
c	$(7.094 \pm 0.3) \times 10^{-7}$	4.39
d	$(7.209 \pm 0.7) \times 10^{-7}$	9.88

P en segundos, para un día $P = 8.64 \times 10^4$ s

Contraste de valores de difusividad térmica α



Conclusiones

1. La metodología *in situ* utilizada proporciona resultados con reducido margen de error dentro de los valores típicos reportados para suelo arenoso.
2. El método ofrece ventajas económicas al requerir equipos no especializados y ahorro del consumo de energía para una fuente de calor.
3. No se requiere sacar muestras para medirlas en el laboratorio, por lo que se mantiene al mínimo las perturbaciones de las condiciones naturales del suelo.
4. La determinación de difusividad se limita a profundidades donde la variación cíclica diaria afecta notoriamente al subsuelo, ordinariamente hasta profundidades de 1.5 m.

Referencias

- **Bodzenta**, J. (2008). Thermal wave methods in investigation of thermal properties of solids, European Physical Journal Special Topics 154, 305–311
- **Gao**, Z., Wang, L., **Horton**, R. (2009). Comparison of six algorithms to determine the soil thermal diffusivity at a site in the Loess Plateau of China, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 6, 2247–2274
- **Martinsons**, C. D., Levick, A. P., Edwards, G. J. (2003). Measurement of the Thermal Diffusivity of Solids with Improved Accuracy. Thermophysics, Vol. 24, No. 4, 1171-1183.
- **Ozgener**, L. (2011).“A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey,” Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 4483–4490
- **Rajeev**, P., Kodikara, J. (2015). Estimating apparent thermal diffusivity of soil using field temperature time series. Geomechanics and Geoengineering, 1-19



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)