

Summary

This paper analyzes three types of risks for agriculture in the Bolivian highlands. drought, hailstorm and frost, which are related in a simple way with the meteorologic data registered at the network level. The probability of occurrence of each risk individually and the probability of occurrence of at least one of the three risks is calculated with a 10 day period of analysis

Introducción

El primer problema que se presenta al agroclimatólogo, al analizar riesgos tales como sequía, granizada y helada, es el poder definirlos de manera que se relacionen los daños del cultivo provocados por el clima con los datos registrados en la red meteorológica. Junto con este problema se plantea el de la intensidad del fenómeno climático, esto es, a partir de qué intensidad se puede afirmar que hay daño. Por ejemplo, en el caso de las granizadas generalmente no se mide la intensidad del fenómeno sino solamente su ocurrencia, quedando pendiente el problema de relacionar la intensidad con los daños provocados. Estas no tienen siempre el mismo impacto, lo cual depende también del cultivo, de su estado fenológico y del tamaño de los granizos.

Con las heladas se presenta el problema de su intensidad, en la definición del riesgo. ¿A partir de qué umbral de temperatura se debe considerar que hay una helada? Generalmente se dispone únicamente de la temperatura del aire, registrada en un abrigo meteorológico colocado a 1.5 m encima del suelo.

¹ Recibido para publicación el 27 de febrero de 1985

El presente artículo forma parte de los resultados obtenidos por el Proyecto de Agroclimatología del IICA, establecido dentro del marco de Cooperación IICA/ORSTOM (Francia). Se agradece al Dr. Michel Eldin, Director de Investigaciones del ORSTOM y al Dr. Michel Montoya, Director de la Oficina del IICA en Nicaragua, por el apoyo brindado al mismo.

* Maître Assistant, INA Paris-Grignon

** Especialista en Agroclimatología del IICA, Costa Rica

Pero esta temperatura es diferente de la que existe en las hojas y órganos de los cultivos o simplemente a nivel del suelo. En meteorología se habla de una helada cada vez que la temperatura medida en la caseta alcanza un valor igual o inferior a 0°C. Sin embargo, hay que tener presente que la temperatura mínima del día registrada en la caseta es superior a la mínima a nivel del suelo. Las temperaturas más bajas suelen ocurrir durante la noche y, muy a menudo, también por la noche se presenta una inversión térmica; esto significa que la temperatura aumenta con la altura, al menos en los primeros metros por encima del suelo. En estas condiciones la temperatura del cultivo es inferior a la temperatura registrada a la altura de la caseta.

En cuanto al riesgo de sequía, el problema es definirlo de una manera simple y fácilmente accesible, relacionándolo con los datos meteorológicos. Se entiende por sequía la carencia de suficiente agua en el suelo para un buen abastecimiento del cultivo. El agua almacenada en la capa superior del suelo proviene de la lluvia y es consumida, principalmente, en el proceso de evapotranspiración. Este proceso es descrito por el concepto de evapotranspiración potencial (ETP) y representa aproximadamente el requerimiento hídrico óptimo de un cultivo bien desarrollado, siendo factible calcularlo empíricamente a partir de los datos meteorológicos. En consecuencia, se debe relacionar el fenómeno de sequía con estos dos factores, la lluvia y la ETP, pudiéndose fijar un nivel de intensidad en función del cultivo y del tipo de suelo.

El objetivo del presente artículo es analizar estos tres tipos de riesgos de una manera simple y general, a partir de los datos meteorológicos registrados en la

red meteorológica. Sin embargo, a la hora de interpretar los resultados obtenidos se deberá tener presentes las limitaciones anotadas.

Materiales y métodos

Se utilizó los datos de las estaciones meteorológicas: La Paz, Copacabana y Charaña. Las coordenadas de dichas estaciones aparecen en el Cuadro 1.

El análisis de los datos meteorológicos se realizó en el Centro de Cómputo del IICA, que cuenta con un computador IBM 4331, y los programas fueron escritos en FORTRAN IV.

Análisis y definición de los riesgos de sequía, helada y granizada

El principio del análisis consiste en dividir el año en n periodos elementales de p días cada uno; después, calcular, para cada periodo elemental, la frecuencia de ocurrencia del fenómeno que constituye el riesgo en estudio.

En relación a la sequía, se consideró que ETP/2 pudiera representar el límite inferior de agua necesaria para el desarrollo normal del cultivo y así constituir un umbral de sequía. Por esta razón, un periodo elemental será considerado como seco si el total de lluvia caída durante el mismo no alcanza la ETP/2.

La ETP se calculó utilizando la fórmula de Priestley y Taylor (2), cuya expresión general es la siguiente:

$$ETP = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G)$$

Siendo,

- ETP Evapotranspiración potencial
- Δ Pendiente de la curva que da la presión máxima de vapor de agua en función de la temperatura
- γ Constante psicrométrica

R_n Radiación neta

G Flujo de calor en el suelo, representa aproximadamente un 5% de R_n .

En cuanto a las heladas, se consideró que un periodo elemental presenta una helada cuando, por lo menos en un día dentro de este periodo, la temperatura mínima del aire es inferior a 0°C (helada meteorológica), sin tomar en cuenta la duración del fenómeno.

De igual forma, se define un periodo elemental con granizada si al menos, durante este periodo, en un día se presenta una granizada, sin preocuparse de su duración o intensidad.

Expresión matemática

Las formas de las curvas obtenidas por medio del análisis frecuencial anteriormente descrito son muy variadas. Con el objeto de simplificar estos resultados es útil dar una expresión matemática a dichas curvas, que representan la evolución de las frecuencias de cada riesgo a lo largo del año. La manera más adecuada de expresarlas es utilizando las series de Fourier:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cdot \cos \frac{2\pi t k}{T} + b_k \cdot \sin \frac{2\pi t k}{T} \right)$$

Donde T representa el periodo de $f(t)$, es decir los n periodos elementales que constituyen el año. a_k y b_k son los coeficientes de Fourier, que se calculan a partir de las fórmulas siguientes escritas en forma discreta:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos \frac{2\pi t k}{T} \cdot dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin \frac{2\pi t k}{T} \cdot dt$$

Estas ecuaciones tienen la ventaja de suavizar las irregularidades de las curvas empíricas y dar así una representación más cómoda.

Cuadro 1. Coordenadas de las estaciones meteorológicas y duración de los registros de datos. Departamento de La Paz, Bolivia.

Nombre	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Lluvia (años)	Temperatura (años)	Granizada (años)
Copacabana	16° 10'	69° 05'	4 018	27	22	27
Charaña	17° 35'	69° 27'	4 057	31	25	31
La Paz	17° 20'	59° 55'	3 632	28	27	28

Riesgo conjunto

Conociendo las probabilidades de sequía P (S), helada P (H) y granizada P (G), y considerando que estos eventos son independientes entre sí, es interesante calcular la probabilidad con la cual ocurre al menos uno de estos tres eventos P (SUHUG). Es decir, que ocurra ya sea una sequía, una helada o una granizada. Esta probabilidad se puede calcular fácilmente utilizando los eventos contrarios.

El evento contrario de SUHUG se escribe $\bar{S} \cap \bar{H} \cap \bar{G}$; donde \bar{S} , \bar{H} y \bar{G} representan los eventos contrarios de S, H y G (Por ejemplo, \bar{S} significa ausencia de sequía).

$$P(SUHUG) = 1 - P(\bar{S} \cap \bar{H} \cap \bar{G})$$

Si se supone que los eventos S, H y G son independientes entre sí, es posible escribir:

$$P(\bar{S} \cap \bar{H} \cap \bar{G}) = P(\bar{S}) \cdot P(\bar{H}) \cdot P(\bar{G})$$

por lo que se obtiene la fórmula siguiente:

$$P(SUHUG) = P(S) + P(H) + P(G) + P(S) \cdot P(H) \cdot P(G) - P(S) \cdot P(H) - P(H) \cdot P(G) - P(S) \cdot P(G)$$

siendo posible calcular el riesgo conjunto a partir de los riesgos elementales P (S), P (H) y P (G) para cada período elemental a lo largo del año

Resultados y discusión

Riesgo de sequía, helada y granizada (período elemental de análisis de 10 días)

En las Figuras 1, 2 y 3 se presenta la evolución de estos tres riesgos a lo largo del año (frecuencias ajustadas a las series de Fourier). El riesgo de mayor importancia en la estación Charaña lo constituye el de helada, mientras que para las estaciones Copacabana y La Paz es el riesgo de sequía. En estas dos últimas estaciones la frecuencia de que se presente una helada aumenta en los meses de junio, julio y agosto. En términos generales el riesgo de granizada es el de menor importancia en las tres estaciones; sin embargo, se siente su efecto en La Paz en los meses de enero y febrero, con una frecuencia de ocurrencia entre 0.3 y 0.4.

Riesgo conjunto

Si se calcula la probabilidad de que ocurra al menos uno de los tres fenómenos, se obtienen las curvas presentadas en la Figura 4. Se aprecia claramente que en Charaña se dan las probabilidades más altas para el riesgo conjunto en cualquier época del año. Para La Paz y Copacabana estas probabilidades disminuyen en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre

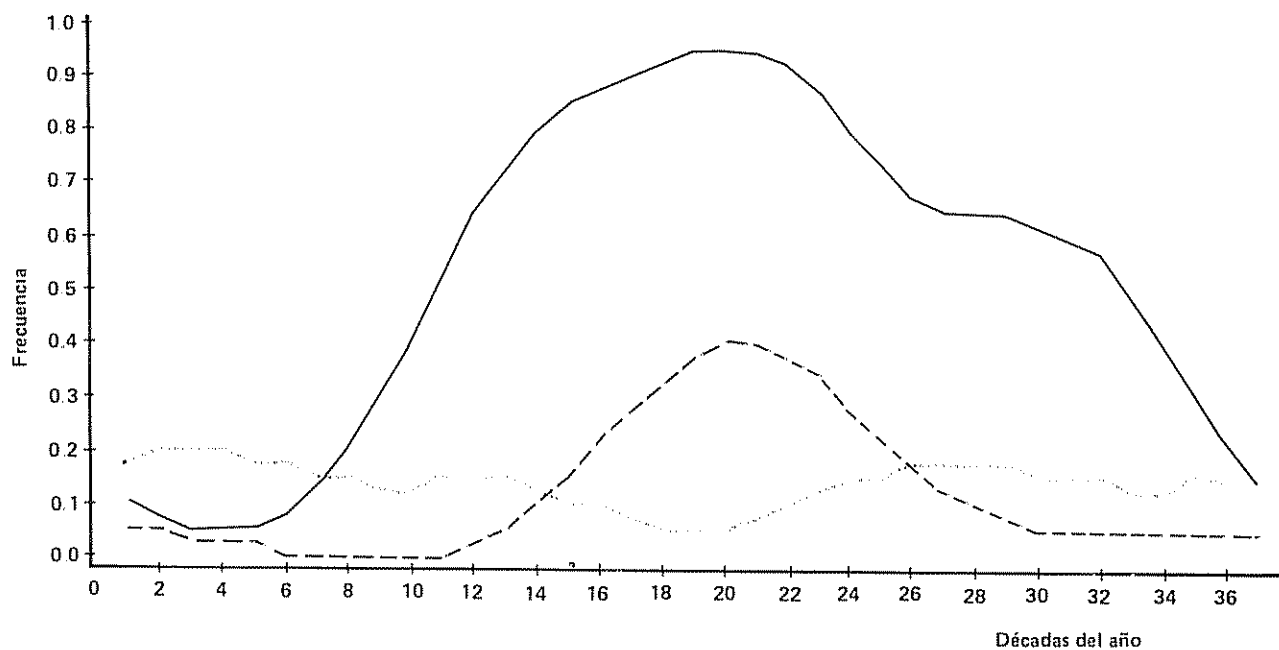


Figura 1. Evolución a lo largo del año de la frecuencia de sequía (-), helada (---) y granizada (...) con un período elemental de análisis de 10 días. Estación Copacabana, Bolivia.

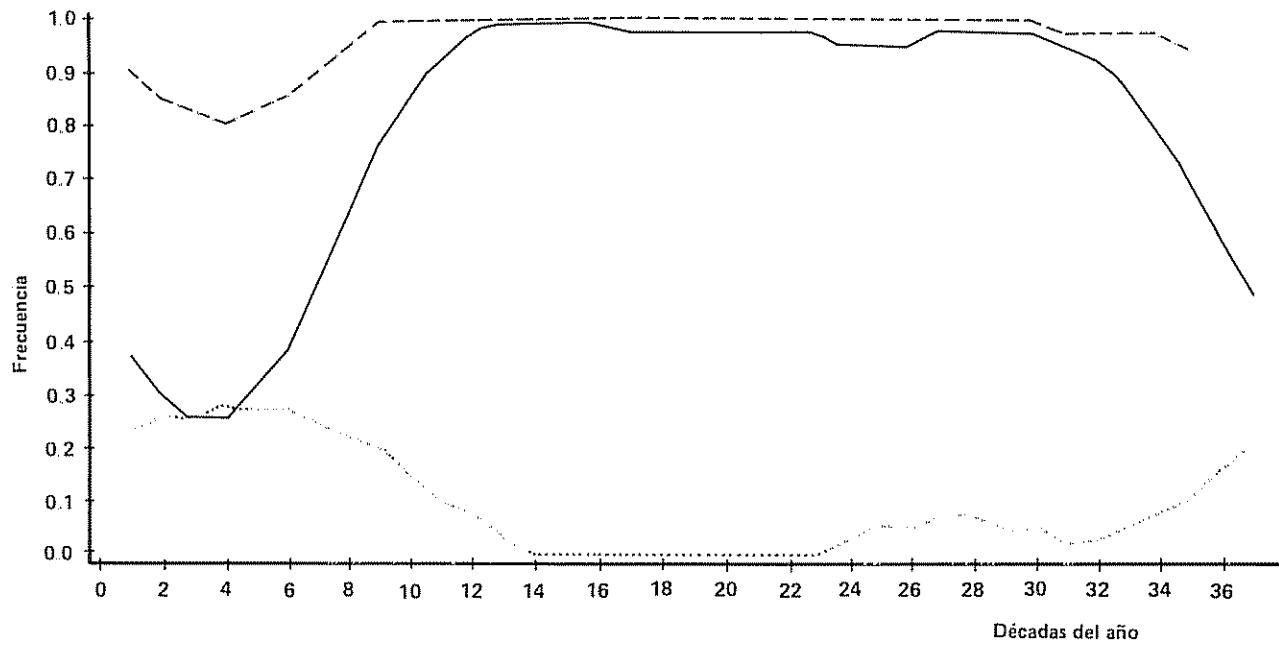


Figura 2. Evolución a lo largo del año de la frecuencia de sequía (—), helada (---) y granizada (...), con elemental de análisis de 10 días. Estación Charaña, Bolivia.

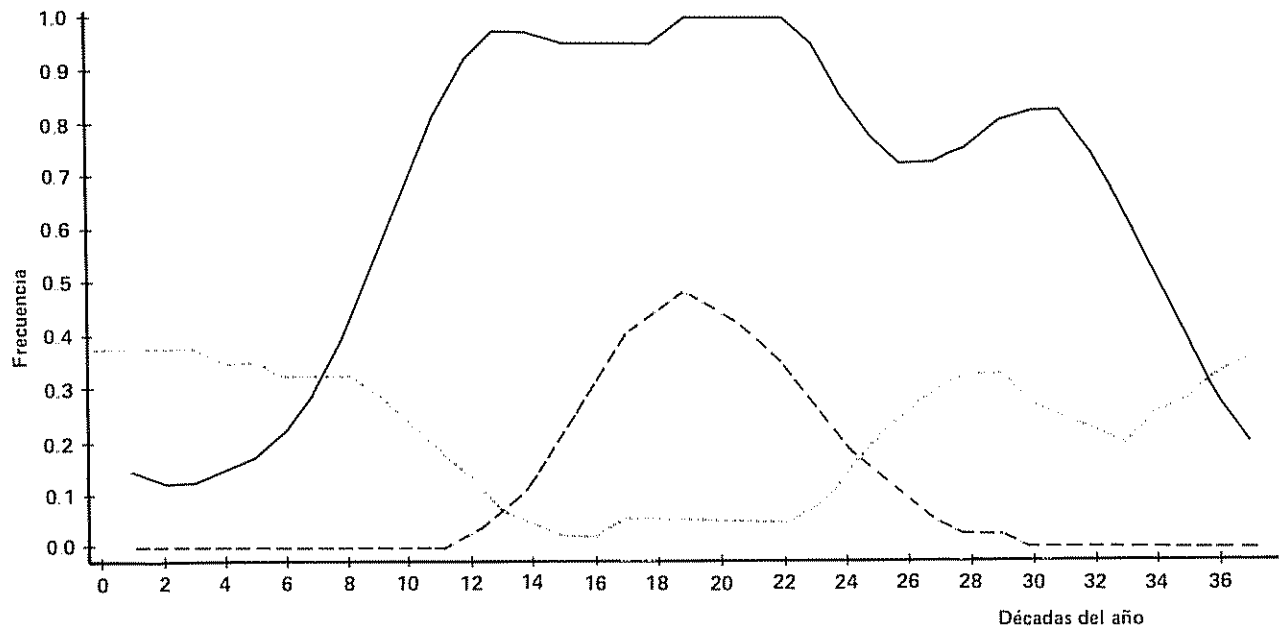


Figura 3. Evolución a lo largo del año de la frecuencia de sequía (—), helada (---) y granizada (...), con un periodo elemental de análisis de 10 días. Estación La Paz, Bolivia.

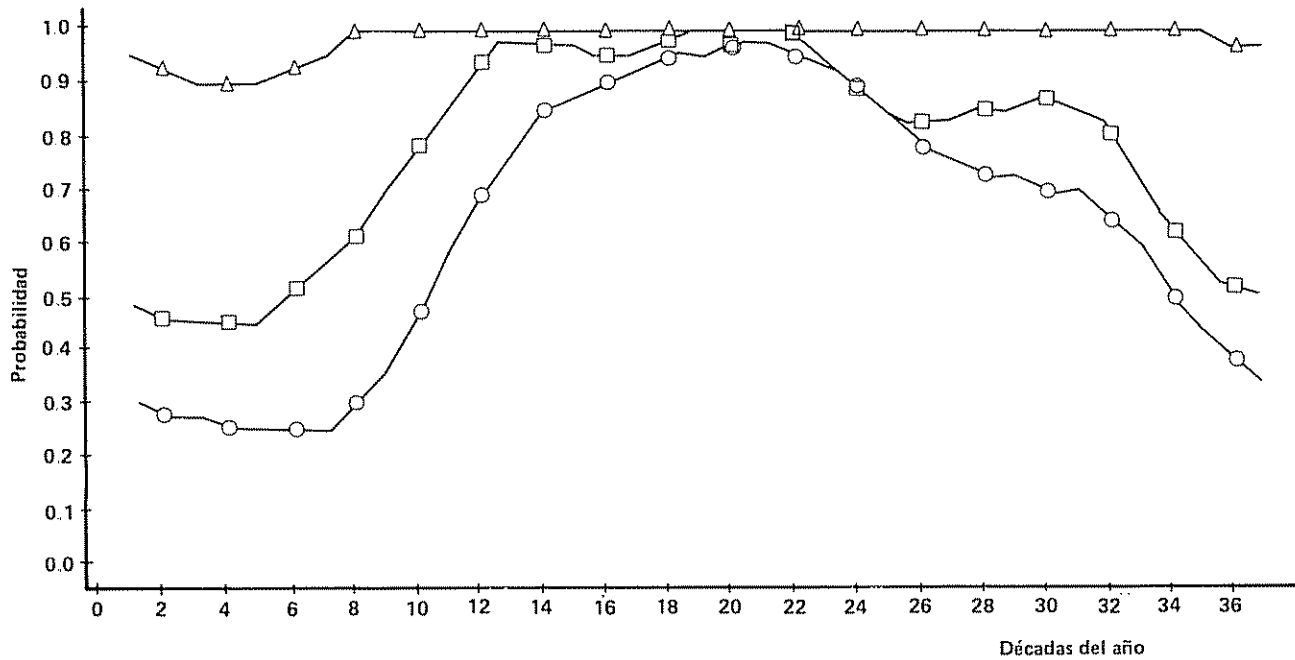


Figura 4. Evolución a lo largo del año de la frecuencia de ocurrencia de por lo menos uno de los tres riesgos. (sequía, helada o granizada), para las estaciones Charaña —Δ— La Paz —□— Copacabana —○— en Bolivia.

Resumen

En el presente artículo se analiza tres tipos de riesgos en la agricultura del altiplano boliviano: sequía, granizada y helada. En forma simple se relaciona estos riesgos con los datos meteorológicos registrados por la red. Se calcula la probabilidad de que ocurra cada riesgo en forma individual, como también la probabilidad de que ocurra al menos uno de los tres (riesgo conjunto), siendo el periodo elemental de análisis de 10 días.

Literatura citada

- 1 BRUNET-MORET, Y. 1969. Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie. Cahiers ORSTOM, série Hydrologie 6(3). 90 p.
- 2 PRIESTLEY, C.; TAYLOR, P.A. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review. 100(2):81-92.

Reseña de libros

SPOSITO, G. *The surface chemistry of soils*. Oxford University Press, New York, USA. 1984. 234 p.

Este volumen corresponde a un tratado de alto nivel de una de las partes más importantes de la química de suelos a la química de la superficie del mismo. El Prof. Sposito, de la Universidad de California, lo escribió después de haber adquirido la distinción de ser uno de los pocos investigadores activos y verdaderos expertos en este campo. Aunque bien escrito en un inglés claro, la obra requiere para su entendimiento buenos conocimientos en fisico-química y química inorgánica avanzada, en adición a conocimientos de suelos.

Cada uno de los seis capítulos tiene una amplia bibliografía, en parte comentada. El primer capítulo, el más largo, se dedica a la descripción química de las superficies de los suelos, de su área, las cargas y su distribución sobre éstas, los grupos funcionales en estas superficies y las reacciones que resultan como consecuencia de estas propiedades. El enfoque de la presentación es fisico-químico y así permite generalizaciones con base en los datos existentes.

El segundo capítulo estudia la estructura del agua próxima a superficies de minerales de arcilla. Esta región muy especial en suelos ha recibido amplios estudios y sus propiedades determinan los fenómenos de adsorción y cambio a los cuales se entiende mejor, con base en el resumen de las investigaciones y su interpretación aquí.

Las cargas en la superficie del suelo y su interfase con la solución que lo rodea es el tema del tercer capítulo. El concepto del punto de carga cero (PZC) de los suelos se discute aquí ampliamente, tanto para minerales de arcilla como para suelos. Este capítulo también analiza los fenómenos electrocinéticos y la adsorción negativa en suelos.

En el capítulo cuarto se examina la adsorción de sustancias inorgánicas y orgánicas por suelos. Este es un capítulo sobre un tema donde el autor del volumen ha sido muy activo y aquí se resume tanto sus

puntos de vista como los de muchos otros investigadores en este campo, usando una argumentación fisico-química.

Como en otros trabajos previos del autor, se enfatiza fuertemente aquí en la necesidad de no dar más significación a algunos modelos y a los valores derivados de ellos, de que le permita una interpretación fisico-química rigurosa de las ecuaciones usadas.

Se analizó aquí los diferentes isothermas usadas para estudiar fenómenos de superficie, los procesos de adsorción en comparación con precipitaciones y las adsorciones de cationes metálicas, de oxianiones y de sustancias orgánicas.

Los modelos químicos que representan la formación de complejos en las superficies de suelos es la materia del quinto capítulo. Se analiza el modelo de la capa doble difusa y sus limitaciones teóricas.

Se discute luego los modelos de formación de complejos superficiales y los modelos de la capacitación constante, de la capa triple y el modelo objetivo. Concluye este capítulo de apreciable complejidad con una discusión de la estructura de los modelos de la formación de complejos superficiales.

El último capítulo, el más breve, estudia los aspectos de química de superficie de la estabilidad de coloides del suelo. En él se analiza las fuerzas de partículas y entre partículas usando suspensiones de montmorillonita y la usa como ejemplo. Se dedica un subcapítulo amplio a las fuerzas entre partículas de suspensiones de filosilicatos.

La estabilidad de suspensiones de coloides de suelos es el tema del último subcapítulo de este volumen muy original. Un cuadro de constantes físicas y su buen índice de materiales concluyen la obra, que enriquece apreciablemente la literatura de la química de suelos en fuerte expansión durante los últimos diez años.

Se recomienda este libro a los investigadores dedicados a química de suelos, particularmente a aquéllos con interés en los modelos que representan los fenómenos bajo estudio.

ELEMER BORNEMISZA S
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA