



Los fragmentos de roca.
Origen e influencia en
la infiltración y
propiedades hidráulicas
de los suelos

Julián Leal Villamil
Edgar Alvaro Avila Pedraza
Deyanira Lobo Luján
Yelena Hernández Atencia





Los fragmentos de roca. Origen e influencia en la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos

Julián Leal Villamil
Edgar Alvaro Ávila Pedraza
Deyanira Lobo Luján
Yelena Hernández Atencia



AGRADECIMIENTOS

Este documento es producto de la investigación realizada como fundamentación teórica de la propuesta de tesis doctoral denominada *Evaluación del comportamiento hidráulico de suelos con presencia de fragmentos de roca en el perfil. Estudio de caso: microcuenca Zanja Honda, cuenca baja del río Combeima (Ibagué, Tolima)*, la cual es financiada con recursos provenientes de la convocatoria 755/2016 para la formación de talento humano de alto nivel para el Departamento del Tolima (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y Gobernación del Tolima). Así mismo, se contó con el apoyo académico y administrativo brindado por la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima, a través de su Programa de Doctorado en Planificación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas, como también la Facultad de Ingeniería Agronómica de esta institución.

RESUMEN

Este libro tiene por objetivo mostrarle al lector aspectos básicos sobre los fragmentos de roca en el suelo y denotar cómo estos afectan la infiltración y las propiedades hidráulicas de los suelos. Los suelos con fragmentos de roca (FR) están estrechamente ligados a la génesis de las geoformas, de los cuales hacen parte. Los FR ejercen una compleja influencia sobre los procesos hidrológicos del suelo (infiltración, evapotranspiración, generación de escorrentía, entre otros) y tienen gran relevancia en el comportamiento de sus propiedades hidráulicas (PHS). En este sentido, el conocimiento del comportamiento hidráulico de los suelos con FR es vital para el entendimiento y la modelación de diversos procesos ambientales, agrícolas, hidrológicos, entre otros. El libro se desarrolla en seis capítulos, el primero trata sobre la génesis de los suelos con FR, el segundo desarrolla algunas generalidades sobre los FR, en los siguientes tres capítulos se describen los efectos que los FR pueden generar en la infiltración y PHS. En el capítulo sexto se plantean algunas perspectivas de investigación en esta temática. Con esta publicación se espera contribuir con el conocimiento de la hidrodinámica de suelos con FR, la cual es fundamental para la modelación, la planificación y la toma de decisiones en el territorio. Se concluyó que el comportamiento de la infiltración y PHS en suelos con fragmentos está muy relacionado con las características de los FR, lo cual explica la dificultad para la unificación de criterios en esta temática. A su vez, es necesario realizar más investigaciones que permitan establecer claramente su influencia, especialmente en suelos del trópico.

Palabras clave: conductividad hidráulica, física de suelos, hidrodinámica de suelos, retención de agua en el suelo, suelos pedregosos.

¿Cómo citar este libro? / How to cite this book?

Leal Villamil, J., Avila Pedraza, E. A., Lobo Luján, D. y Hernández Atencia, Y. (2021). *Los fragmentos de roca. Origen e influencia en la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia,

DOI: <https://doi.org/10.16925/9789587603439>

ABSTRACT

The objective of this book is to show to the reader basic aspects of rock fragments in the soil and to show how they affect the infiltration and the hydraulic properties of soils. Soils with rock fragments (RF) are closely linked to the genesis of the landform of which they are part. The RF exert a complex influence on the hydrological processes in the soil (infiltration, evapotranspiration, generation of runoff, among others) and have a great relevance in the behavior of its hydraulic properties (SHP). In this sense, knowledge of the hydraulic behavior of soils with RF is vital for understanding and modeling various environmental, agricultural, and hydrological processes, among others. The book is developed in six chapters, the first deals with the genesis of soils with RF , the second develops some generalities on RF , the following three chapters describes the effects that RF can have on infiltration and SHP . The sixth chapter presents some research perspectives on this topic. With this publication it is hoped to contribute to the knowledge of the hydrodynamics of soils with RF which is fundamental for the modeling, planning and decision making in the territory. It was concluded that the behavior of infiltration and SHP in stony soils is closely related to the RF characteristics, which explains the difficulty in unifying criteria in this area. In turn, more research is needed to clearly establish its influence, especially in tropical soils.

Palabras clave: hydraulic conductivity, soil hydrodynamic, soil physics, soil water retention, stony soils.

Los fragmentos de roca. Origen e influencia en la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos

Julián Leal Villamil
Edgar Alvaro Avila Pedraza
Deyanira Lobo Luján
Yelena Hernández Atencia

Grupo de Investigación en Ciencias del Suelo (Gricis)
Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical
Equipo de Trabajo en Ciencia del Suelo (Fagro), UCV (Venezuela)
Grupo de Investigación Agua y Desarrollo Sostenible en Ingeniería Civil (Aqua)

Los fragmentos de roca : origen e influencia en la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos / Julián Leal Villamil ... [et. al.]. -- Bogotá : Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, 2021.

p. – (Colección general de investigación)

Incluye datos de los autores. -- Contiene referencias bibliográficas. -- Texto en español con resumen en inglés.

ISBN 978-958-760-341-5 (impreso) -- 978-958-760-343-9 (e-pub) -- 978-958-760-342-2 (pdf)

1. Permeabilidad de suelos 2. Infiltración del suelo 3. Mecánica de rocas 4. Física de suelos I. Leal Villamil, Julián II. Serie

CDD: 624.15136 ed. 23

CO-BoBN- a1088924

Los fragmentos de roca. Origen e influencia en la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos

- © Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá, septiembre de 2021.
- © Julián Leal Villamil, Edgar Alvaro Avila Pedraza, Deyanira Lobo Luján, Yelena Hernández Atencia

ISBN (impreso): 978-958-760-341-5

ISBN (PDF): 978-958-760-342-2

ISBN (EPUB): 978-958-760-343-9

DOI: <https://doi.org/10.16925/9789587603439>

Colección general de investigación

Recepción: agosto de 2020

Evaluación de contenidos: octubre de 2020

Corrección de autor: octubre de 2020

Aprobación: noviembre de 2020

Fondo editorial

Director Nacional Editorial, Julián Pacheco Martínez

Especialista en Gestión Editorial, Daniel Urquijo Molina

Especialista en Producción Editorial (revistas), Andrés Felipe Andrade Cañón

Especialista en Producción Editorial (libros), Camilo Moncada Morales

Analista Editorial, Claudia Carolina Caicedo Baquero

Asistente Editorial: Héctor Gómez

Proceso editorial

Corrección de estilo y lectura de pruebas, María Elvira Mejía

Diagramación y diseño, Juan Pablo Rátiva González

Impresión, Shopdesign S.A.S.

Impreso en Bogotá, Colombia.

Depósito legal según el Decreto 460 de 1995.

Nota legal

Todos los derechos reservados. Ninguna porción de este libro podrá ser reproducida, almacenada en algún sistema de recuperación o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio –mecánicos, fotocopias, grabación y otro–, excepto por citas breves en textos científicos, sin la autorización previa y por escrito del Comité Editorial Institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia.



UNIVERSIDAD
COOPERATIVA
DE COLOMBIA



COLECCIÓN
GENERAL DE
INVESTIGACIÓN

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE ABREVIATURAS	17
INTRODUCCIÓN	19
Origen de los fragmentos de roca en el suelo y su relación con el paisaje	23
Introducción	23
Suelos pedregosos de los paisajes montañosos	24
Suelos pedregosos de los paisajes de piedemonte	28
Suelos pedregosos de los paisajes de valle y planicie aluvial	35
Generalidades sobre las propiedades hidráulicas y los fragmentos de roca en el suelo	39
Introducción	39
Definición y sistemas de clasificación de fragmentos de roca	43
Distribución geográfica de suelos con fragmentos de roca	44
Posición de los fragmentos de roca en el perfil del suelo e influencia sobre la infiltración y las propiedades hidráulicas	47
Metodología empleada	50
Resultados	52
Base de datos de estudios consultados	52
Funciones de pedotransferencia	58

Efecto de los fragmentos de roca en la infiltración de agua en el suelo	61
Efecto de los fragmentos de roca ubicados sobre la superficie del suelo o parcialmente embebidos en el horizonte superficial	62
Efecto de los fragmentos de roca ubicados dentro del perfil del suelo	67
Efecto de los fragmentos de roca en la conductividad hidráulica del suelo	71
Conductividad hidráulica no saturada	71
Conductividad hidráulica saturada	74
Efecto de los fragmentos de roca en la capacidad de retención de agua del suelo	83
Perspectivas en la investigación de la influencia de los fragmentos de roca sobre la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos	91
CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS	99
SOBRE LOS AUTORES	125
ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Suelos con fragmentos de roca de ambiente glaciárico	25
Figura 2. Roca dura y coherente (contacto lítico) que origina el suelo por la acción de factores y procesos formadores	25
Figura 3. Suelos con fragmentos provenientes del frente de meteorización de la roca dura y coherente	26
Figura 4. Suelos con fragmentos en laderas de zonas montañosas	27
Figura 5. Suelos con fragmentos de roca tipo bombas, en sectores próximos a volcanes	29
Figura 6. Suelos con fragmentos de roca tipo lapilli (bajo depósitos de ceniza volcánica) en laderas de montañas con influencia volcánica	29
Figura 7. Suelos con fragmentos de roca de coluvios de piedemonte	30
Figura 8. Geoforma originada por depósitos de materiales de tipo diluvial (abanico)	31
Figura 9. Suelos con fragmentos de roca en abanicos diluviales (ápice del abanico)	32
Figura 10. Suelos con fragmentos de roca en abanicos diluviales (cuerpo del abanico)	33
Figura 11. Suelos con fragmentos en abanicos de depositación aluvial o fluvial (cuerpo de abanico)	34
Figura 12. Suelos de lomas con fragmentos de roca (originadas por degradación de abanicos)	35
Figura 13. Suelos de valle con presencia de capas de fragmentos de roca	36
Figura 14. Suelos de planicie aluvial con incidencia de fragmentos de roca en el perfil del suelo	37

Figura 15. Sistemas de clasificación de suelos de acuerdo con el contenido volumétrico porcentual de fragmentos de roca en su perfil	45
Figura 16. Sistemas de clasificación del tamaño para los fragmentos de roca	46
Figura 17. Distribución temporal de las publicaciones referentes a la infiltración y propiedades hidráulicas en suelos con fragmentos de roca	53
Figura 18. Publicaciones que relacionan la infiltración, tasa de infiltración y las propiedades hidráulicas de suelos con fragmentos de roca	53
Figura 19. Número de publicaciones reportadas por cada temática de investigación	54
Figura 20. Propiedades de los fragmentos de roca descritas por las publicaciones recopiladas	55
Figura 21. Distribución geográfica de las publicaciones científicas relacionadas con el estudio de la infiltración y propiedades hidráulicas de suelos con fragmentos de roca	56
Figura 22. Publicaciones realizadas por temática de investigación en relación al estudio de la infiltración y propiedades hidráulicas de suelos con fragmentos de roca	57
Figura 23. Publicaciones realizadas por temática de investigación en relación con el estudio de las propiedades de los fragmentos de roca	58
Figura 24. Efectos que genera la posición de fragmentos de roca sobre la infiltración de la superficie del suelo	65



Figura 25. Efecto del incremento del contenido de fragmentos de roca en suelo sobre el flujo de agua en condiciones de saturación 78

Figura 26. Influencia ambivalente del contenido de fragmentos de roca del suelo sobre la K_s 81



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Investigaciones realizadas referentes a la influencia de los fragmentos de roca sobre la infiltración y propiedades hidráulicas de los suelos	128
Anexo 2. Funciones de pedotransferencia para la estimación de la infiltración y las propiedades hidráulicas en suelos con fragmentos de roca	141

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO: Asociación Americana de Autopistas Estatales y Transporte Oficial.

BSCS: Sistema Británico de Clasificación del Suelo.

cc: capacidad de campo.

CFR: contenido de fragmentos de roca.

COBFR: cobertura superficial de fragmentos de roca.

CRAS: capacidad de retención de agua en el suelo.

CRAD: capacidad de retención de agua disponible.

CSSC: Sistema Canadiense de Clasificación del Suelo.

DFR: distribución de los fragmentos de roca.

EPSS: erosión y producción de sedimentos del suelo.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FFR: forma de los fragmentos de roca.

FR: fragmentos de roca.

i: infiltración acumulada.

i: tasa de infiltración.

ISS: Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

IUSS: Unión Internacional de Ciencias del Suelo.

K_q : conductividad hidráulica no saturada del suelo.

K_s : conductividad hidráulica saturada del suelo.



MAS: movimiento del agua en el suelo.

MCS: Sistema de Clasificación Morfogénica de Suelos Eslovacos.

MFR: grado de meteorización de los fragmentos de roca.

PFR: posición de los fragmentos de roca.

PHS: propiedades hidráulicas del suelo.

PMP: punto de marchitez permanente.

PPS: porosidad y permeabilidad del suelo.

RDAS: retención y disponibilidad de agua en el suelo.

RW: revisión de literatura o del estado del arte.

TFR: tamaño de los fragmentos de roca.

TS: transporte de solutos.

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.



INTRODUCCIÓN

Los suelos con fragmentos de roca (FR) están estrechamente ligados a la génesis de las geoformas de los cuales hacen parte; usualmente, los FR poseen muchas de las propiedades de su material parental y, en ocasiones, existe influencia de materiales externos (*exsitu*). Los FR ejercen una compleja influencia sobre los procesos hidrológicos del suelo (infiltración, evapotranspiración, generación de escorrentía, entre otros) y tienen una alta relevancia en el comportamiento de sus propiedades hidráulicas (PHS), es decir, la conductividad hidráulica saturada e insaturada y capacidad de retención de agua en el suelo.

A pesar de la importancia que los FR pueden ejercer sobre la hidrodinámica del suelo, son relativamente escasas las publicaciones dedicadas al estudio de esta área del conocimiento. Si bien, existen algunos capítulos de libro y artículos de revisión en los cuales se ha abordado la influencia de los FR en la infiltración y las PHS, usualmente estos documentos no alcanzan a abarcar la totalidad de variables hidrodinámicas del suelo; sumado a ello, la literatura en el tema usualmente se encuentra en idiomas diferentes al español, lo que dificulta su difusión en países hispanoamericanos. A su vez, la elaboración de estos escritos se ha producido en diferentes décadas, lo cual implica que muchos de ellos no contemplen los más recientes avances científicos en la materia.

También es de resaltar que a la fecha no existe un libro dedicado a la divulgación de este conocimiento en particular.

Este libro tiene por objetivo permitir que el lector conozca aspectos generales sobre los FR en el suelo y cómo estos afectan la infiltración y las PHS, ya que los suelos pedregosos son altamente variables en comportamiento y muy complejos para la medición de sus propiedades hidrodinámicas; esta temática investigativa es tema de debate académico en el ámbito internacional y aun requiere mayores esfuerzos investigativos para su pleno entendimiento y comprensión.

En este libro se hizo especial énfasis en la búsqueda de información que permitiera explicar la génesis del suelo y su relación con los fragmentos de roca, como también la influencia de estos sobre estas propiedades hidrodinámicas de los suelos. La revisión fue realizada mediante el análisis minucioso de la literatura publicada en diferentes lugares del mundo y en diferentes épocas, a partir de la consulta en diversas bases de datos y documentos relacionados con el tema de interés. En total, se consultaron 163 documentos, de los cuales el más antiguo data de 1943.

Como resultado de la recopilación realizada se desarrolló una base de datos con la información presentada por las publicaciones, la cual fue sujeto de análisis por parte de los autores para establecer, no solamente las principales características de los estudios, sino también sintetizar las influencias de los FR sobre la infiltración y la PHS, reportadas por los diversos estudios; lo anterior permitió afirmar que estos efectos pueden ser positivos, negativos y, en algunos casos, ambivalentes. De este modo, este libro puede ser considerado como la más completa recopilación investigativa en el campo de la hidrodinámica de suelos con FR, pues compila y le brinda al lector la síntesis de más de 50 años de avances científicos en este campo. Este documento recoge no solo los avances presentados en el campo de la hidrodinámica de suelos con FR, sino que también está diseñado de una manera más completa, en el

sentido que le permite al lector conocer los aspectos generales de los FR y comprender el proceso de formación o pedogénesis de esta clase de suelos.

Los resultados permiten establecer que se presentan contradicciones en los resultados obtenidos por las diversas investigaciones en el ámbito mundial en la materia, en algunos casos los comportamientos pueden ser positivos, negativos o ambivalentes ante determinados valores umbral en el contenido de FR del suelo. Esta situación puede originarse por varios factores entre los cuales se destacan el objetivo del estudio, los métodos empleados (métodos de medición en campo, medición en laboratorio o simulaciones computacionales), las condiciones propias del suelo empleado y las propiedades particulares de los FR utilizados. Otro aspecto por resaltar como resultado de este trabajo es el hecho de que los suelos con FR, ubicados en las zonas tropicales, son los que han sido estudiados en menor proporción en comparación con otras áreas del mundo; además, el entendimiento de los efectos hidráulicos de los FR en los suelos es un gran reto en la investigación futura, ya que su comportamiento, es particular, puede ser considerado como uno de los más complejos en los suelos del planeta.

Se considera que la información contenida en esta publicación será de mucha utilidad para los planificadores del territorio y las entidades u organismos que toman decisiones sobre los recursos hídricos o ambientales de una región, ya que, por medio de esta compilación, se pueden llegar a entender comportamientos hidrológicos e hidrodinámicos de los suelos pedregosos presentes en una región, en particular, facilitando no solo su comprensión y manejo, sino también elaborar mejores modelaciones hidrológicas y ecológicas. Además, este documento puede ser un material de consulta y aporte para profesiones relacionadas con el suelo, como son: la ingeniería civil, ingeniería agronómica, ingeniería forestal, ingeniería ambiental, ingeniería de recursos hidráulicos, entre otras.

Para un mayor entendimiento de este libro se recomienda que el lector aborde secuencialmente los capítulos dispuestos en la obra; como tal, este libro está compuesto por seis capítulos. El primer capítulo pretende adentrar al lector sobre el origen de los suelos con fragmentos de roca desde una perspectiva geomorfológica, orientada por la génesis del paisaje en el cual se presentan. En el segundo capítulo se abordan generalidades sobre los fragmentos de roca, como son, su definición, sistemas de clasificación, distribución geográfica en el mundo, posición en el perfil del suelo. Adicionalmente, se muestra la metodología empleada para esta investigación junto con el análisis de la base de datos de los estudios consultados y se caracterizan algunas de las funciones de pedotransferencia para suelos pedregosos reportadas por dichos estudios.

En el capítulo tres se describen los resultados obtenidos por las investigaciones recopiladas en lo referente a la influencia de los fragmentos de roca en la infiltración del suelo; así mismo, en el capítulo cuarto y quinto se muestran los resultados de las recopilaciones bibliográficas con respecto al efecto de los fragmentos de roca en la conductividad hidráulica (saturada y no saturada) y sobre la capacidad de retención de agua del suelo, respectivamente. En el capítulo sexto se abordan algunas perspectivas sobre la investigación en este campo y, posteriormente, se plantean las conclusiones presentadas por los autores.

Se espera que este libro contribuya al conocimiento sobre la caracterización y el comportamiento de los suelos con fragmentos de roca; al mismo tiempo, que permita fomentar el interés investigativo en los lectores, para que, a partir de este documento, se puedan realizar nuevas investigaciones en suelos pedregosos, especialmente, en zonas tropicales.