



# **Introducción a la génesis y física de suelos**

**Nelson Piraneque Gambasica  
Sonia Aguirre Forero  
Rosmery Cruz O'Byrne**

Colección Ciencias Agrarias  
Serie: Agronomía

*Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia*

Piraneque Gambasica, Nelson Virgilio, autor  
Introducción a la génesis y física de suelos / Nelson Virgilio Piraneque Gambasica, Sonia Aguirre Forero, Rosmery Cruz O'Byrne -- Primera edición -- Santa Marta : Editorial Unimagdalena, 2023.  
1 recurso en línea : archivo de texto: PDF. -- fotografías e ilustraciones a color -- (Ciencias Agrarias. Agronomía)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-746-595-2 (pdf) -- 978-958-746-596-9 (epub)

1. Física de suelos 2. Estructura de suelos 3. Composición de suelos I. Aguirre Forero, Sonia Esperanza, autor II. Cruz O'Byrne, Rosmery Katherine, autor

CDD: 631.4 ed. 23

CO-BoBN- a1112450

Primera edición, marzo de 2023

2023 © Universidad del Magdalena. Derechos Reservados.

Editorial Unimagdalena

Carrera 32 No. 22-08

Edificio de Innovación y Emprendimiento

(57 - 605) 4381000 Ext. 1888

Santa Marta D.T.C.H. - Colombia

[editorial@unimagdalena.edu.co](mailto:editorial@unimagdalena.edu.co)

<https://editorial.unimagdalena.edu.co/>

Colección Ciencias Agrarias, serie: Agronomía

Rector: Pablo Vera Salazar

Vicerrector de Investigación: Jorge Enrique Elías-Caro

Diseño y diagramación: Luis Felipe Márquez Lora

Diseño de portada: Orlando Javier Contreras Cantillo

Corrección de estilo: Juan Diego Mican González

Santa Marta, Colombia, 2023

ISBN: 978-958-746-595-2 (pdf)

ISBN: 978-958-746-596-9 (epub)

DOI: <https://doi.org/10.21676/9789587465952>

Hecho en Colombia - Made in Colombia

La UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, en su calidad de editora y titular de derechos patrimoniales de autor, y en su propósito de contribuir con la difusión y divulgación del conocimiento, la producción intelectual y la educación, dispone autorizar la reproducción impresa o digital del presente libro, de manera total o parcial, así como su distribución, difusión o comunicación pública (puesta a disposición) en medio impreso o digital de manera libre y gratuita, en tanto se mantenga la integridad del texto y se dé la correspondiente cita a sus autores y mención institucional. Queda prohibida la comercialización o venta a cualquier título de este material.



Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad de los autores y no compromete al pensamiento

## **Agradecimientos**

Nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que hacen parte de nuestra trayectoria familiar y profesional; principalmente, a nuestros estudiantes y a los profesionales de la ciencia del suelo, a quienes va dirigido este módulo, y para quienes fue pensado con el objetivo de transmitir y compartir el conocimiento. Así, agradecemos a todos aquellos que intervienen de manera directa y técnica para que la ciencia del suelo sea conocida por un amplio número de personas que busquen el manejo y la conservación del recurso, en un mundo que requiere incrementar en 70 % la producción de alimentos para alimentar a 9 mil millones de personas en muy pocos años.

## Contenido

<b>Presentación .....</b>	<b>12</b>
Objetivo del módulo .....	13
Destreza del criterio de desempeño.....	14
Actividades de reconocimiento .....	14
<b>Introducción a la génesis de suelos (pedogénesis) .....</b>	<b>15</b>
Factores formadores del suelo .....	18
Material parental .....	19
Relieve.....	64
Clima .....	67
Organismos.....	69
Tiempo .....	80
Procesos pedogenéticos.....	82
Adiciones.....	83
Transformaciones.....	84
Traslocaciones .....	86
Pérdidas .....	90
Morfología del suelo .....	92
Textura.....	93
Estructura.....	95
Porosidad.....	99
Densidad aparente .....	102
Consistencia.....	104
Color .....	106
pH.....	110

Horizontes del suelo .....	112
Clasificación de suelos .....	123
Mapeo de suelos .....	127
Componentes de un mapa .....	129
Tipos de unidades de mapa .....	131
Importancia del mapeo de suelos .....	132
Cuestionario de la unidad 1 .....	134
Referencias de la unidad 1 .....	143

**Introducción a la física de suelos .....** 167

Fase sólida del suelo .....	170
Densidad y porosidad.....	171
Sedimentación de partículas.....	173
Superficie específica de las partículas del suelo .....	175
Fase líquida del suelo .....	180
Contenido de humedad.....	181
Potencial hídrico .....	183
Movimiento de agua en los suelos .....	185
Retención de agua en los suelos .....	186
Temperatura del suelo .....	199
Fase gaseosa del suelo .....	206
Contenido de gas.....	206
Movimiento de gas en el suelo .....	207
Cuestionario de la unidad 2 .....	211
Referencias de la unidad 2 .....	217

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las rocas sedimentarias clásticas ...	26
<b>Tabla 2.</b> Otros minerales de óxidos de hierro .....	38
<b>Tabla 3.</b> Minerales de óxidos de manganeso .....	40
<b>Tabla 4.</b> Nesosilicatos .....	46
<b>Tabla 5.</b> Inosilicatos .....	50
<b>Tabla 6.</b> Tectosilicatos.....	55
<b>Tabla 7.</b> Filosilicatos .....	57
<b>Tabla 8.</b> Clasificación del relieve según la pendiente y la morfología del terreno.....	66
<b>Tabla 9.</b> Bacterias solubilizadoras de minerales.....	70
<b>Tabla 10.</b> Minerales formados por biomineralización microbiana y los microorganismos responsables.....	72
<b>Tabla 11.</b> Agrupación de los procesos pedogenéticos según su duración.....	91
<b>Tabla 12.</b> Rango crítico de densidad aparente, porosidad y permeabilidad del suelo con problemas de compactación.....	103
<b>Tabla 13.</b> Clases de consistencia según la fuerza requerida para romper suelo seco y húmedo o la columna de cementación de bloques o terrones .....	105
<b>Tabla 14.</b> Clases de consistencia según la fuerza requerida para romper costras superficiales o placas de suelo .....	106
<b>Tabla 15.</b> Clasificación de suelos según su pH.....	111
<b>Tabla 16.</b> Descripción de los horizontes del suelo.....	114
<b>Tabla 17.</b> Sufijos de características subordinadas de los horizontes maestros del suelo .....	116
<b>Tabla 18.</b> Horizontes diagnósticos.....	120
<b>Tabla 19.</b> Descripción de los órdenes del suelo .....	125

<b>Tabla 20.</b> Tipos de componentes de unidades de mapa utilizados en estudios de suelos .....	130
<b>Tabla 21.</b> Densidad de minerales típicos del suelo.....	172
<b>Tabla 22.</b> Superficie específica, CIC y densidad de carga de varios minerales de arcilla .....	177
<b>Tabla 23.</b> Clasificación de la infiltración según la velocidad.....	188
<b>Tabla 24.</b> Clasificación de la permeabilidad de suelos según su coeficiente K.....	194

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ciclo de las rocas.....	20
<b>Figura 2.</b> Ejemplos de rocas intrusivas .....	23
<b>Figura 3.</b> Ejemplos de rocas hipoabisales .....	24
<b>Figura 4.</b> Ejemplos de rocas extrusivas.....	25
<b>Figura 5.</b> Ejemplos de rocas sedimentarias clásticas.....	28
<b>Figura 6.</b> Ejemplos de rocas sedimentarias químicas y bioquímicas .....	29
<b>Figura 7.</b> Ejemplos de rocas sedimentarias volcánicas .....	30
<b>Figura 8.</b> Ejemplos de rocas metamórficas.....	32
<b>Figura 9.</b> Estructuras de óxidos comunes.....	34
<b>Figura 10.</b> Estructuras de los silicatos.....	45
<b>Figura 11.</b> Representación esquemática de una cronosecuencia del suelo.....	81
<b>Figura 12.</b> Relación entre el tamaño de las partículas del suelo .....	93
<b>Figura 13.</b> Triángulo textural basado en USDA .....	94
<b>Figura 14.</b> Esquemmatización de la agregación de partículas del suelo.....	96
<b>Figura 15.</b> Tipos de estructura del suelo.....	98
<b>Figura 16.</b> Espacios porosos del suelo.....	100
<b>Figura 17.</b> Tipos de poros del suelo según su forma.....	102
<b>Figura 18.</b> Tamaño de muestra de suelo para estimaciones de consistencia.....	104
<b>Figura 19.</b> Formas que toman los moteados del suelo.....	108
<b>Figura 20.</b> Esquemmatización del sistema de color de Munsell .....	109
<b>Figura 21.</b> Esquemmatización de los horizontes maestros del suelo .....	113

<b>Figura 22.</b> Una secuencia clásica de horizontes de suelo A-B-C-R bajo cultivo herbáceo en Tanzania .....	114
<b>Figura 23.</b> Perfiles de suelo en Polonia. A) Suelo con secuencia de horizontes Ap-Et-Bt; B) Suelo con secuencia de horizontes Ap-Bt1-Bt2-BC-C-Ck .....	119
<b>Figura 24.</b> Taxones del suelo según su grado de meteorización y desarrollo del suelo.....	127
<b>Figura 25.</b> Distribución mundial de los taxones del suelo con énfasis en Colombia.....	128
<b>Figura 26.</b> Diagrama de constituyentes de una muestra de medios porosos no saturados en base volumétrica y de masa .....	168
<b>Figura 27.</b> Esquemmatización de la zona saturada y no saturada del suelo .....	169
<b>Figura 28.</b> Fuerzas que intervienen en la sedimentación de partículas en un líquido .....	175
<b>Figura 29.</b> Distribución de capas y cationes en algunos materiales arcillosos .....	178
<b>Figura 30.</b> Doble capa eléctrica de las partículas del suelo .....	180
<b>Figura 31.</b> Saturación, capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente para una gama de texturas de suelo .....	183
<b>Figura 32.</b> Representación del potencial hídrico.....	185
<b>Figura 33.</b> Ilustración de la ley de Darcy.....	193
<b>Figura 34.</b> Esquemmatización de un menisco .....	198
<b>Figura 35.</b> Esquemmatización del ángulo de contacto ( $\theta$ ) ...	199
<b>Figura 36.</b> Relación entre conductividad térmica y contenido de agua para suelos con diferentes densidades aparentes.....	202

<b>Figura 37.</b> Relación entre la conductividad térmica y el contenido de agua para suelos con diferentes texturas....	203
<b>Figura 38.</b> Patrones de temperatura (T) del suelo a través del tiempo y con la profundidad para suelos bien drenados.....	204
<b>Figura 39.</b> Composición típica de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> en varios periodos del año según textura y profundidad .....	209

## Presentación

El suelo es un sistema vivo, base de los sistemas de producción agrícola y que posee numerosas funciones de índole ambiental como la captura de carbono, la regulación hidrológica y la regulación climática; por tanto, la sostenibilidad depende en gran medida de la comprensión de este recurso. En ese sentido, el módulo de génesis y física de suelos está orientado a estudiantes de ingeniería agronómica, ingeniería ambiental y todos aquellos interesados en el conocimiento del funcionamiento del suelo para hacer más eficientes las prácticas de uso, manejo y conservación. Para ese fin, se parte del entendimiento de que este recurso está compuesto por material mineral y orgánico proveniente de materiales rocosos y residuos orgánicos, los cuales han evolucionado a través del tiempo y han sido alterados por la acción de factores climáticos y biológicos con influencia del relieve, lo que ha dado como resultado características morfológicas diferenciales en el perfil del suelo.

Este módulo es un compendio de conceptos básicos tales como los factores de formación de suelos, donde se enfatiza en la procedencia del recurso y cómo este puede ser alterado por procesos de ganancias, pérdidas, transformaciones y translocaciones. Estos fenómenos hacen que los suelos evolucionen y generen diferentes formas de organización que se traducen en la formación de horizontes, con base en los cuales se obtiene la clasificación del suelo a fin de darle una gestión adecuada. Adicionalmente, se quiere compartir con los estu-

diantes y estudiosos del suelo conocimiento para que analicen e investiguen, según el contexto, las propiedades físicas más relevantes y su importancia en la producción de cultivos y los impactos ambientales que se derivan de su manejo.

Así pues, esta publicación brinda información sobre la génesis del suelo (factores formadores, procesos pedogenéticos, morfología, clasificación y mapeo) y las principales propiedades físicas que intervienen en el funcionamiento del sistema, que puede servir como puerta de entrada al conocimiento del recurso. El objetivo del texto es facilitar el proceso de aprendizaje y dinamizar la autonomía del estudiante, y en ese sentido está dirigido a la formación del futuro profesional con un enfoque contextual y en un escenario de aplicación a ciencias agrarias y ambientales.

De acuerdo con lo anterior, los autores expresan que este libro es una revisión bibliográfica del tema. Por ende, se reconoce la propiedad intelectual de los textos consultados a través de la referenciación y se hace énfasis en que la intención del material es académica-didáctica, para desarrollar pensamiento crítico y científico en los estudiantes.

### **Objetivo del módulo**

Al finalizar el estudio y la comprensión de los temas, el estudiante debe:

- a. Definir el suelo como recurso natural.
- b. Entender cómo se forma el suelo y cuáles son los factores formadores del recurso.
- c. Identificar los principales procesos pedogenéticos.
- d. Diferenciar las características morfológicas, los horizontes y la clasificación de los suelos.

- e. Reconocer la importancia de la génesis y física de suelos en la producción de fibras y de alimentos y en procesos ambientales de importancia.
- f. Describir y reconocer las principales propiedades físicas de los suelos.

### **Destreza del criterio de desempeño**

- El estudiante define el suelo y su importancia en el ecosistema.
- El estudiante identifica y explica los factores y procesos formadores de suelos.
- El estudiante interpreta las diferentes morfologías del suelo y reconoce los factores responsables.
- El estudiante describe y aplica en su contexto las propiedades físicas del suelo.

### **Actividades de reconocimiento**

1. ¿Qué entiendes por suelo?
2. ¿Cuál es la diferencia entre suelo y pedósfera?
3. ¿Cuáles son los factores formadores de suelo?
4. ¿Puedes enunciar y explicar las propiedades más importantes de los suelos?
5. ¿Cuáles son los principales procesos físicos que se dan en los suelos?

## Introducción a la génesis de suelos (pedogénesis)

Las investigaciones sobre suelos iniciaron con la agricultura sedentaria, pero una gran parte de ellas fueron de forma aplicada y práctica (Yaalon, 1997). Pocas están documentadas a partir de la Edad Media, lo que coincide con la represión de la ciencia y el dominio de la religión. Luego, en el Renacimiento, se iniciaron las investigaciones del suelo y los europeos redescubrieron las obras anteriores de griegos y romanos (Brevik y Hartemink, 2010). Así, la ciencia encargada del estudio de la génesis, la clasificación y la distribución de los suelos se conoce como «pedología», palabra proveniente del griego *pedon*, que significa «suelo», y *logia*, que significa «estudio».

La Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS) y muchos de los científicos miembros de la organización interpretan que la pedología abarca todos los estudios científicos del suelo y, por lo tanto, todos los científicos del suelo son pedólogos (Singer, 2005). Por ello, muchas veces se emplea el término como sinónimo de ciencia del suelo (Schaeztl y Anderson, 2005d). Esta ciencia tradicionalmente se ha subdividido en factores formadores del suelo, procesos de formación del suelo, morfología del suelo, clasificación del suelo y geografía y mapeo del suelo (Buol *et al.*, 1997; Sokolov, 1996).

Se pensaría que el estudio de los suelos tiene una larga historia debido a que estos sostienen la vida humana desde sus inicios. Sin embargo, la ciencia del suelo tuvo una llegada tar-