TÍTULO:

Secuencia didáctica para mejorar la enseñanza - aprendizaje de la capacidad de retención de agua del suelo

Asignatura: **Física de Suelos**
Maestría
Semestre: **Primero o segundo**
Posgrado en Ciencias de la Tierra
Asignatura: **Ciencia del Suelo**
Licenciatura en Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias

Autores:

Autora: Blanca Prado Pano.
Coordinador: Juan Carlos Durán.
Revisor: Rodolfo Zanella Specia.
Proveedor de contenidos: Lucy Mora Palomino.
Revisor: René Aredondo.

La Física de suelos ***evalúa las propiedades físicas mediante su descripción y medición. Estudia los estados y movimientos de la materia, los flujos y transformaciones de la energía en el suelo.***

Problematización reflexiva

¿Cómo se encuentra el agua del suelo? ¿Estática? ¿En movimiento?

Problema pedagógico

El movimiento del agua del suelo es un proceso complejo porque intervienen al mismo tiempo fuerzas en sentido opuesto: gravedad y capilaridad.

El proceso dominante está en función de las características del suelo.

La infiltración y retención del agua en el suelo, son procesos transitorios

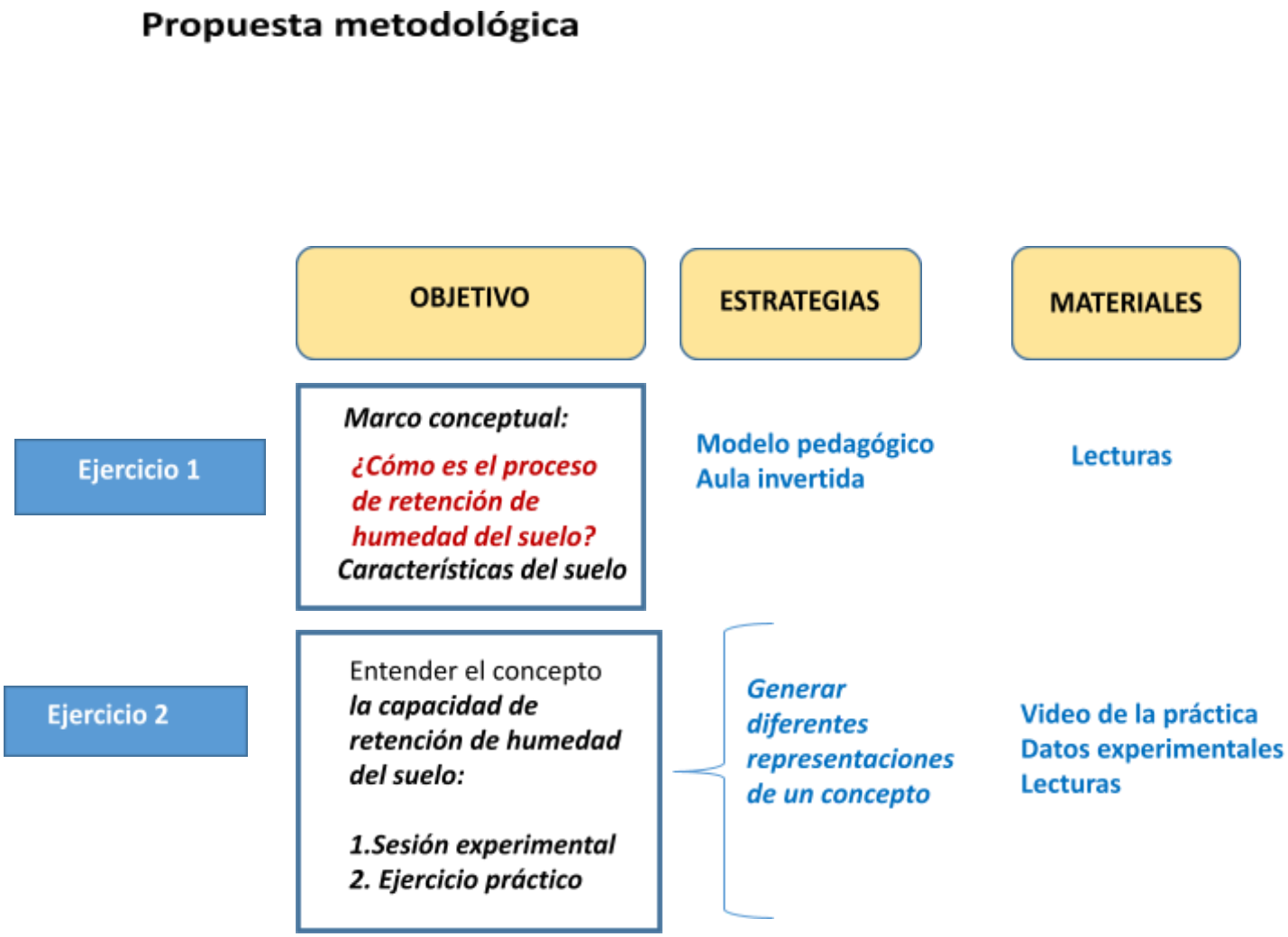


Figura 1.

Blanca Lucía Prado Pano. 2023. Tipo de figura: Diagrama.

Ejercicio 1

Comprensión modelo conceptual

Objetivo: Analizar los conceptos fundamentales para comprender la capacidad de retención de humedad del suelo a partir de la revisión de la literatura y la visualización de un video.

¿Qué pasa cuando llega agua al suelo?

Características del suelo
Escala del estudio

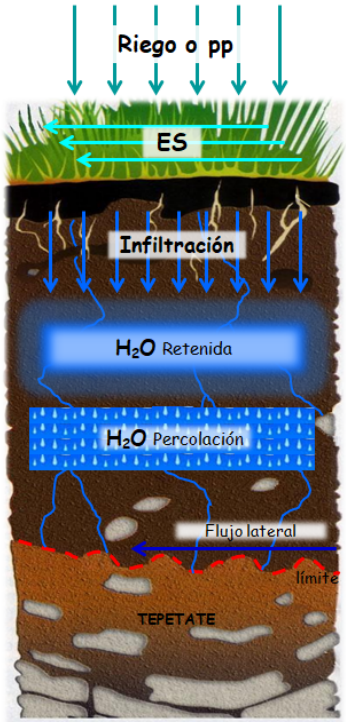


Figura 2. Maricarmen Salazar Ledesma. 2023. Figura.

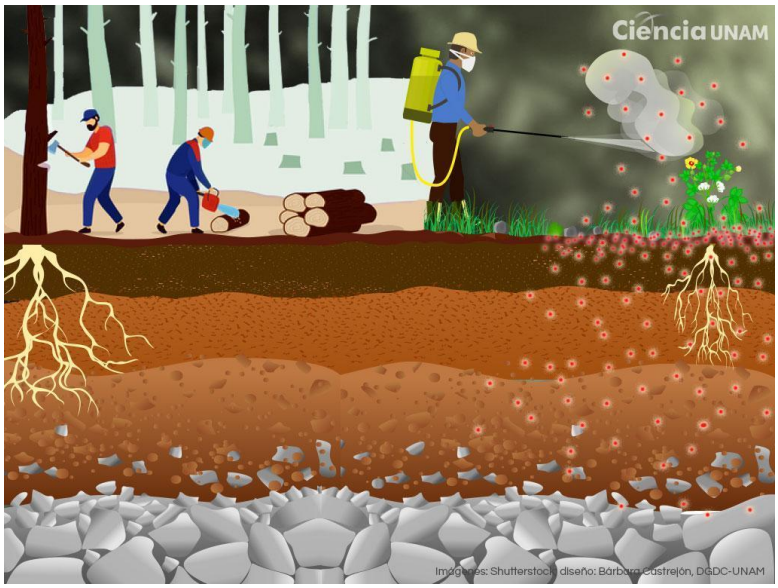


Figura 3. Shutterstock diseño Bárbara Castrejón. DGDC-UNAM. 2021. Imagen.

EJERCICIO 1

Marco teórico: Curva de Retención de Humedad
Objetivo: Al realizar el ejercicio, los estudiantes aprenderán la teoría de la capacidad de retención de humedad del suelo, y los modelos para representarla.

Procedimiento
Realizar las siguientes lecturas:

Márquez, R. (2022). Parametrización de un modelo semiempírico de flujo y de transporte para suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821704/Index.html

- Tema 3.9 a 3.15, páginas 29 a 37

Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics. Fundamentals, Applications, anEnvironmental Considerations. 1st Edition. eBook ISBN: 9780080544151

- Tema *Soil moisture characteristic* curve, página 155 a 168.

Ver el siguiente video relacionado con la infiltración del agua y las propiedades del suelo:

Gembloux Agro-Bio Tech. (2015) Water movement in the soil.
https://www.youtube.com/watch?v=ego2FkuQwxc

Elaborar un reporte de dos cuartillas, donde responda a las siguientes preguntas:
- ¿Qué propiedades del suelo definen la capacidad de retención de humedad?
- ¿Qué es la curva de retención de humedad?
- ¿Cuál es el efecto de la textura y estructura del suelo, en la curva de retención de humedad?
- ¿Qué es la histéresis?

Productos entregables de la actividad:
1. Reporte dando respuesta a las preguntas.

Referencias

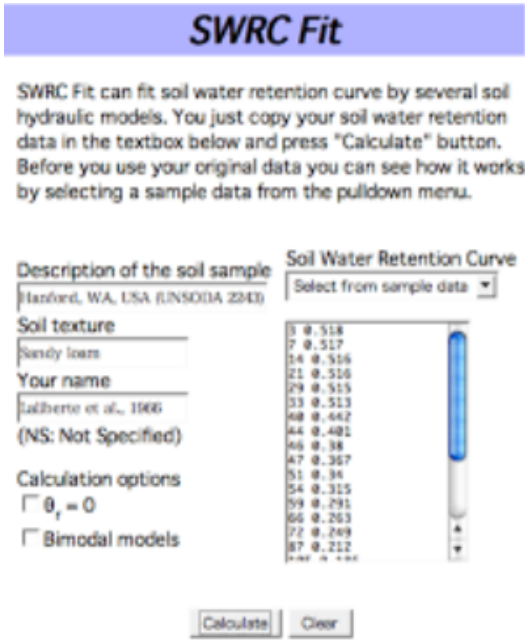
- Márquez, R. (2022). Parametrización de un modelo semiempírico de flujo y de transporte para suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821704/Index.html
- Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics. Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. 1st Edition. eBook ISBN: 9780080544151

Ejercicio 2

Evaluar proceso físico: experimental

Tutorial para usar el equipo Hyprop View

SWRC Fit. Web interface



REPRESENTACIÓN 1

Parámetros modelo empírico

Model	Equation	Parameters
van Genuchten	$S_e = \left[\frac{1}{1+(\alpha h)^n}\right]^m \quad (m = 1 - 1/n)$	$\theta_s = 0.45573$ $\theta_r = 5.8878e\text{-}06$ $\alpha = 0.011542$ $n = 1.0672$

Figura 4. Blanca Lucía Prado Pano. 2023. Tipo de figura: Diagrama.

Solución del modelo empírico para valores teóricos propuestos

REPRESENTACIÓN 2

TABLA DE DATOS

cbar	cm3/cm3
0.58	0.00
0.56	0.00
0.54	0.00
0.52	0.00
0.51	0.00
0.44	16.00
0.44	15.00
0.43	16.00
0.42	21.00
0.41	19.00
0.39	24.00
0.39	24.00
0.37	31.00
0.37	29.00
0.36	34.00
0.35	31.00
0.33	27.00
0.33	26.00
0.32	36.00
0.31	33.00
0.30	44.00
0.30	35.00
0.28	52.00
0.28	42.00

Van Genuchten (1980):

$$\theta_e = [1 + (a|\psi|^n]^{-m}$$

a, n, m Parámetros empíricos de ajuste con las siguientes especificaciones:

$a > 0$ Entre 10^{-3} y 10^{-2} cm^{-1}

$|\psi| \geq 0$

$n > 1$ Entre 1.2 y 4

$0 < m < 1$

Figura 5. Blanca Lucía Prado Pano. 2023. Tipo de figura: Diagrama.

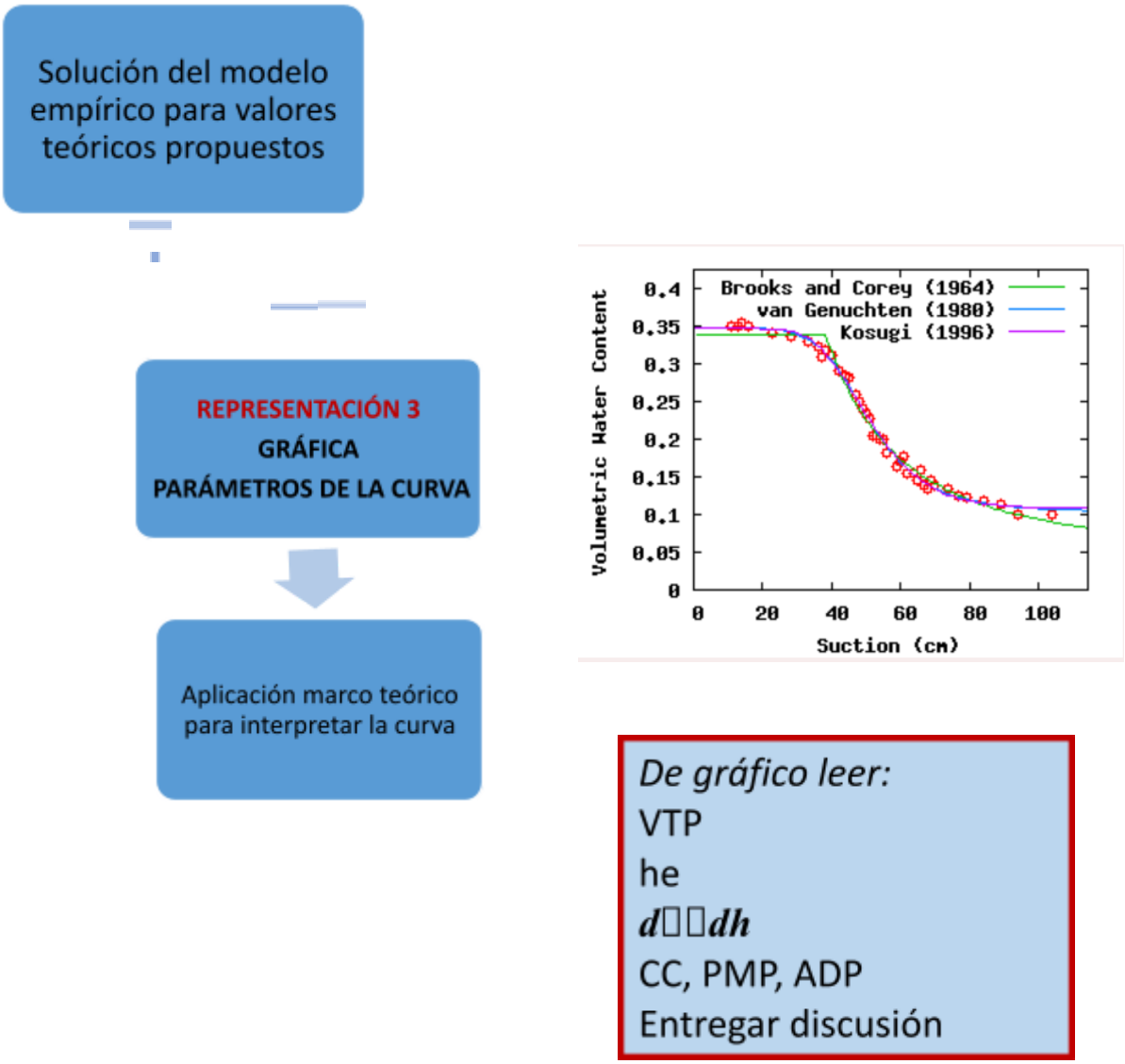


Figura 6. Blanca Lucía Prado Pano. 2023. Tipo de figura: Diagrama.

EJERCICIO 2

PRÁCTICA: Obtener tres representaciones de la Curva de Retención de Humedad del suelo utilizando datos experimentales del equipo HYPROP

Objetivos.
General: Al término de la práctica los estudiantes comprenderán el concepto de la capacidad de retención de humedad del suelo

Particulares
Los estudiantes obtendrán **tres representaciones** de la curva de retención de humedad:
1. Obtendrán los datos para construir la curva de retención de humedad de un suelo utilizando el equipo HYPROP.
2. Obtendrán los parámetros de van Genuchten (1980). Representación 1.
3. Obtendrán los valores de humedad para valores de potencial matricial en el rango saturación – punto de marchitez permanente. Representación 2.
4. Obtendrán el gráfico de la curva y podrán identificar los parámetros característicos de la retención de humedad del suelo evaluado. Representación 3.

Procedimiento
1. Ver video con la explicación del uso del equipo HYPROP. Tutorial para usar el equipo Hyprop View
Instituto de Geología, UNAM. (2021). Tutorial para usar el equipo Hyprop View
https://www.youtube.com/watch?v=5iLDGLxW9Mc

2. A partir de los datos generados con el HYPROP, obtener los parámetros de VG (1980) (Representación 1/3) mediante la interface
https://seki.webmasters.gr.jp/swrc/
Seki K (2007) SWRC fit - a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrol Earth Syst Sci Discuss 4: 407
https://doi.org/10.5194/hessd-4-407-2007

4. Con los parámetros del modelo de VG (1980) resolver la ecuación y obtener los **datos de humedad para los valores de tensión** de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60,100, 150, 200, 250, 300, 330, 500,1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, 5,000, 7,500, 10,000, 12,500 y 15,000 cm H_2O . Representación 2/3

5. Obtener el gráfico de la curva de retención de humedad. Representación 3/3
6. En el gráfico *"leer"* la siguiente información*:*
• Volumen total de poros (VTP) del suelo
• El valor de la succión de entrada de aire
• La Distribución de poros funcionales del suelo:
– Indicar el valor de humedad a CC (a 330 cm H_2O),
– Indicar el valor de humedad al PMP (a 15000 cm H_2O),
– El agua disponible para la planta (ADP) = CC-PMP
– La capacidad de aireación (CA)

– El volumen de poros de drenaje rápido (PDR)

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS CON EL EQUIPO HYPROP

Tension (hPa)	humedad (vol/vol)	Tension (hPa)	humedad (vol/vol)	Tension (hPa)	humedad (vol/vol)
2.65	0.547	6.19	0.530	24.27	0.486
2.66	0.547	6.22	0.529	25.53	0.484
2.70	0.546	6.32	0.528	26.85	0.482
2.74	0.546	7.00	0.528	28.12	0.481
2.75	0.546	7.29	0.527	29.31	0.479
2.75	0.546	7.45	0.526	30.55	0.477
2.74	0.546	7.85	0.525	31.92	0.475
2.72	0.545	8.17	0.524	33.57	0.473
2.64	0.545	8.47	0.523	35.16	0.471
2.56	0.544	9.04	0.522	36.90	0.469
2.52	0.544	9.73	0.521	38.73	0.467
2.49	0.544	10.30	0.520	40.74	0.465
2.49	0.543	10.59	0.519	43.05	0.463
2.59	0.543	10.89	0.518	45.60	0.460
2.77	0.542	11.35	0.516	48.31	0.458
2.93	0.542	11.78	0.515	51.17	0.456
3.03	0.541	11.07	0.514	53.95	0.454
3.03	0.541	10.28	0.513	57.02	0.452
2.95	0.540	10.96	0.512	59.98	0.450
2.90	0.540	11.89	0.511	62.81	0.448
2.89	0.539	12.59	0.510	65.61	0.446
2.86	0.539	13.12	0.508	69.18	0.445
2.92	0.538	13.58	0.507	73.45	0.443
3.24	0.537	14.09	0.506	77.62	0.441
3.61	0.537	14.79	0.504	81.85	0.439
3.45	0.536	15.49	0.503	86.90	0.437
3.33	0.535	16.26	0.501	92.90	0.435
3.56	0.535	17.10	0.499	99.31	0.432
3.84	0.534	18.20	0.497	106.17	0.430
4.28	0.533	19.50	0.495	113.50	0.428
4.76	0.532	20.75	0.493	121.06	0.425
5.25	0.532	22.03	0.490	129.12	0.423
5.71	0.531	23.12	0.488	136.77	0.421
				1333.52	0.356

Productos entregables de los estudiantes que realicen la secuencia didáctica:

1. Reporte de la revisión de la literatura (marco teórico)
2. Parámetros del modelo de Van Genuchten (1980)
3. Tabla de datos humedad y potencial matricial del suelo
4. Gráfica de la curva de retención de humedad
5. Cuartilla de discusión de los resultados

Evaluación de la actividad: Tabla de cotejo

	Indicadores por evaluar	Puntos	Cumplió		Observaciones
			Si	No	
1	Entregó reporte del marco teórico a partir de la lectura y video	10			
2	Vio el tutorial para usar el equipo Hyprop	5			
3	Obtuvo los parámetros del modelo de Van Genuchten 1980	20			
4	Resolvió la ecuación de VG y obtuvo los datos de humedad para los valores de tensión dados	20			
5	Generó y discutió la tabla de datos de variación del contenido de humedad vs el potencial matricial	5			
6	Obtuvo la representación gráfica de retención de humedad	10			
7	Identificó los diferentes puntos de interés sobre el gráfico	15			
8	Entregó la cuartilla de discusión de los resultados	15			

Tabla 1. Tabla de cotejo de cumplimiento de actividades a realizar por los estudiantes

Referencias

- Gembloux Agro-Bio Tech. (2015). Water movement in the soil. https://www.youtube.com/watch?v=ego2FkuQwxc
- Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics. Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. 1st Edition. eBook ISBN: 9780080544151
- Instituto de Geología UNAM. (2020) Tutorial para usar el equipo Hyprop View. https://www.youtube.com/watch?v=5iLDGLxW9Mc
- Juárez, C. (2021). Hacia una relación más sana con el suelo. Ciencia UNAM-DGDC. https://ciencia.unam.mx/leer/1201/hacia-una-relacion-mas-sana-con-el-suelo-
- Márquez, R. (2022). Parametrización de un modelo semiempírico de flujo y de transporte para suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821704/Index.html
- Meter Group (S/F) Operation Manual HYPROP 2. https://library.metergroup.com/Manuals/18263_HYPROP_Manual_Web.pdf
- Seki, K. (2007 SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4, 407–437, https://doi.org/10.5194/hessd-4-407-2007.
- Seki, K., Toride, N., Van Genuchten, M Th. (202)1. Closed-form hydraulic conductivity equations for multimodal unsaturated soil hydraulic properties. https://doi.org/10.1002/vzj2.20168
- Seki, K. (S/F). Perfil, *Google Académico*. https://seki.webmasters.gr.jp/swrc/
- Van Genuchten, M Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J. 44:892-898
- Yáñez, N., Dec, D., Clunes, J., Dörner, J. (2015). Estimación de la curva de retención de agua de un Andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia. Agro Sur 43(3): 63-72, 2015 DOI:10.4206/agrosur.2015.v43n3-07

Enlaces de interés:

1. Manual del funcionamiento del equipo Hyprop
Meter Group, (S/F). Manual del funcionamiento del equipo Hyprop
http://publications.metergroup.com/Manuals/UMS/18502_KSAT-HYPROP_2-inch_Adapter_Manual.pdf

2. Interface sugerida, para el ajuste de los datos experimentales
Seki, K. (S/F). SWRC Fit. https://seki.webmasters.gr.jp/swrc/

3. Video relacionado con la infiltración del agua y las propiedades del suelo:
Gembloux Agro-Bio Tech. (2015). Water movement in the soil.
https://www.youtube.com/watch?v=ego2FkuQwxc

4. Prado, B. Durán, JC. Zanella, R. Mora, L. Aredondo, R. [RUA UNAM - Oficial] (8 de agosto 2023) *Secuencia didáctica para mejorar la enseñanza - aprendizaje de la capacidad de retención de agua del suelo* [Video] Youtube. https://youtu.be/MTluoDjctb4

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO

REPRESENTACION 1 DE 3 Parámetros del modelo de VG 1980

SWRC Fit. Web interface

SWRC Fit - Result -

- Soil sample: CP-RA5
- Texture: Franco arcillosa
- Name: FdS

Model	Equation	Parameters	R^2	AIC
van Genuchten	$S_e = \left[\frac{1}{1+(\alpha h)^n}\right]^m \quad (m = 1 - 1/n)$	$\theta_s = 0.55214$ $\theta_r = 0.26769$ $\alpha = 0.098381$ $n = 1.2375$	0.99775	-1241.3

- Effective saturation, $S_e = (\theta-\theta_r)/(\theta_s-\theta_r)$. Therefore $\theta = \theta_r + (\theta_s-\theta_r)S_e$.

θs	θr	α	n
0.55	0.26769	0.098381	1.2375

Figura 7. Blanca Lucía Prado Pano. 2023. Tipo de figura: Diagrama.

Representación 2 de 3: Tabla de valores humedad vs potencial matricial

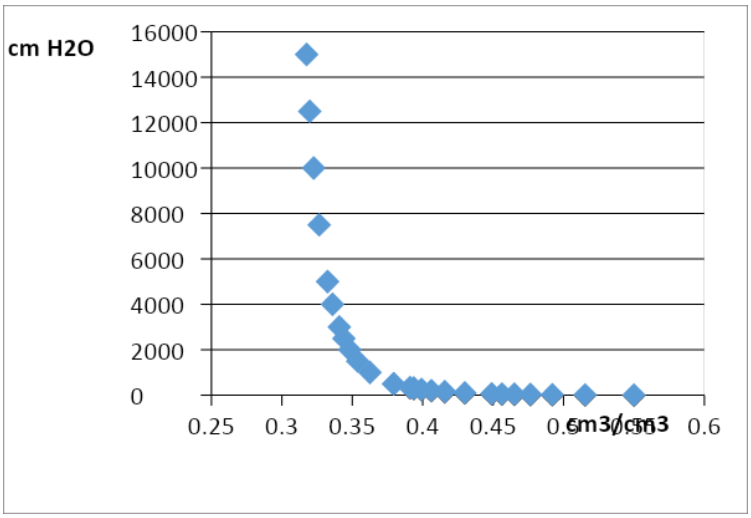
ECUACIÓN

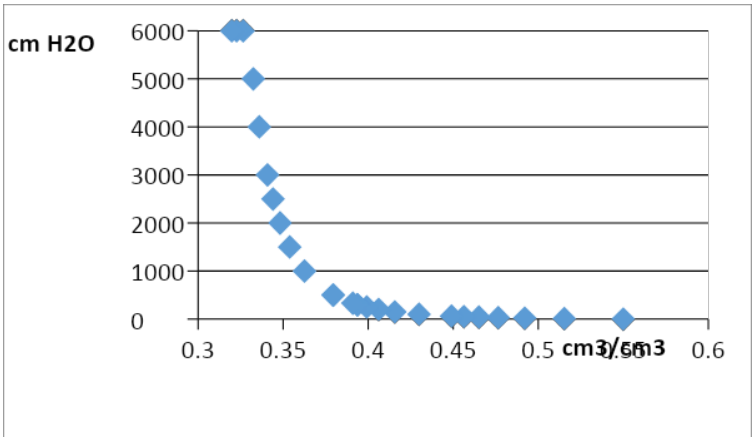
$$S_e = \left[\frac{1}{1+(ah)^n} \right]^m \qquad m = 1 - \frac{1}{n} \qquad \theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) S_e$$

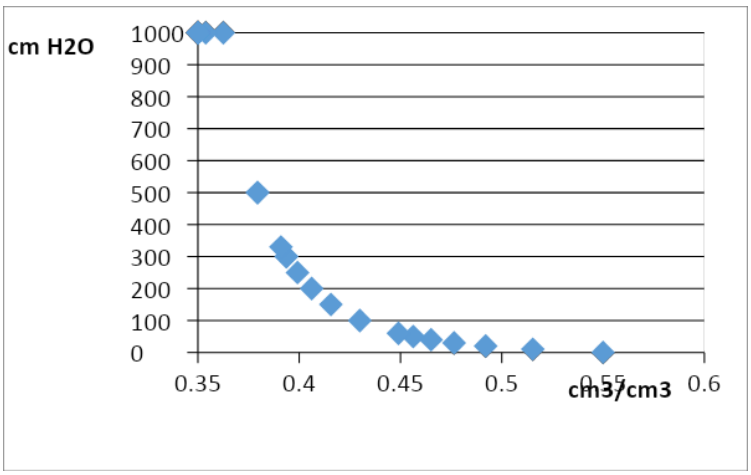
Potencial matricial cm H2O	Se	θ vol/vol
0	1	0.550
10	0.877	0.515
20	0.795	0.492
30	0.740	0.476
40	0.699	0.465
50	0.668	0.456
60	0.643	0.449
100	0.575	0.430
150	0.524	0.416
200	0.490	0.406
250	0.466	0.399
300	0.446	0.394
500	0.396	0.379
300	0.446	0.394
330	0.436	0.391
500	0.396	0.379
1000	0.336	0.363
1500	0.305	0.354
2000	0.285	0.348
2500	0.270	0.344
3000	0.259	0.341
4000	0.242	0.336

5000	0.229	0.332
7500	0.208	0.327
10000	0.195	0.323
12500	0.185	0.320
15000	0.177	0.318

Representación 3 de 3: Grafico de la curva de retención de humedad a partir de los datos de la tabla obtenida en la representación 2 de 3






cm H2O
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0.35
0.4
0.45
0.5
0.55
0.6
cm3/cm3