

POTENCIAL DEL AGUA EN EL SUELO

1.1.- Introducción 1.2- Concepto de potencial de agua. 1.3- Unidades del potencial del agua. 1.4- Componentes del potencial total del agua. 1.5- Curvas características de humedad. 1.6- Ejercicios.

1.1- Introducción

El contenido de agua del suelo se expresa, generalmente, como porcentaje de peso seco (θ_g) o de volumen aparente (θ_v). Esta segunda forma de reflejarlo suele ser más intuitiva, y por tanto, resulta, comparativamente, más reveladora de la disponibilidad de agua para las plantas. Sin embargo, un contenido de humedad en porcentaje dice poco a cerca de la cantidad de agua útil del suelo para el cultivo, ya que un mismo contenido de humedad puede corresponder a condiciones de saturación en un suelo y al punto de marchitez en otro. Por ello, y desde el punto de vista de la producción agrícola puede ser más interesante conocer la energía con la que el agua es retenida que el contenido de la misma en el terreno.

1.2- Concepto de potencial de agua

El potencial del agua se refiere a su estado energético. Hay varias fuerzas que actúan sobre el agua en el suelo y que por lo tanto afectan a su potencial. Entre ellas las más importantes son: a) las fuerzas derivadas de la interacción del agua con las partículas sólidas b) las fuerzas de interacción agua-moléculas en solución c) las fuerzas del campo gravitatorio. Excepto en suelos muy húmedos o salinos, las de mayor interés son las de interacción con los sólidos del suelo.

Se puede definir al potencial del agua como:’ aquella capacidad de hacer trabajo por unidad de masa, en relación con el agua libre, sin solutos y a una altura de cero sobre la superficie del suelo’.

De acuerdo con lo anterior el potencial total del agua se puede expresar como la suma de varios componentes:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_o$$

Donde: Ψ se refiere a su potencial y los subíndices t, g, p y o indican: total, gravitatorio, presión y osmótico, respectivamente.

1.3- Unidades del potencial del agua.

Según la definición de potencial las unidades son energía/masa, es decir, en el Sistema Internacional sería Julios/kg. Sin embargo, debido a que la densidad del agua es la unidad, es más corriente emplear las unidades de energía/volumen, que numéricamente son las mismas que las anteriores (excepto el factor 10^3 , ya que $1\text{m}^3 \approx 10^3 \text{ kg}$). La ventaja de operar con Julios/ m^3 ($\equiv 1 \text{ Newton}/\text{m}^2 \equiv 1 \text{ Pascal}$), es que son unidades de presión, que conceptualmente son más cómodas de emplear.

Otras veces se emplean las unidades de energía/peso que equivale a una longitud (altura de una columna de agua). En estas unidades se tiene que $1 \text{ bar} \approx 10 \text{ m.c.a} \approx 75 \text{ cm Hg}$

1.4.- Componentes del potencial total del agua

Potencial gravitatorio. Es el derivado de la fuerza que la gravedad ejerce sobre el agua. Por lo tanto, la altura a que se encuentre el agua afecta a su energía. La energía potencial gravitatoria de una masa m a una altura h , sobre el nivel de referencia, es:

$$E = -m g h = -\rho V g h$$

Donde: V es el volumen y g es la aceleración debida a la gravedad. Así pues el potencial será:

$\Psi_g = E/m = -gh$, si se expresa como energía por unidad de masa.

$\Psi_g = E/V = -\rho g h = -\gamma h$, si se expresa como energía por unidad de volumen.

$\Psi_g = E/mg = -h$ si se expresa como energía por unidad de peso.

Potencial de presión. En el caso mas frecuente de suelo no saturado este potencial es debido a las fuerzas de adhesión de las moléculas de agua a las partículas sólidas del suelo y a las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua. Cuando el suelo se encuentra no saturado, el agua está bajo tensión (o presión negativa). Como se ha dicho, si el suelo está saturado, entonces el agua en cada punto tiene una presión que depende de la columna de agua que soporte. En ambos casos, la manera más corriente de expresar este potencial es en unidades de presión o altura de agua. La figura 1 simula la presión existente en un suelo por encima y por debajo del nivel freático.

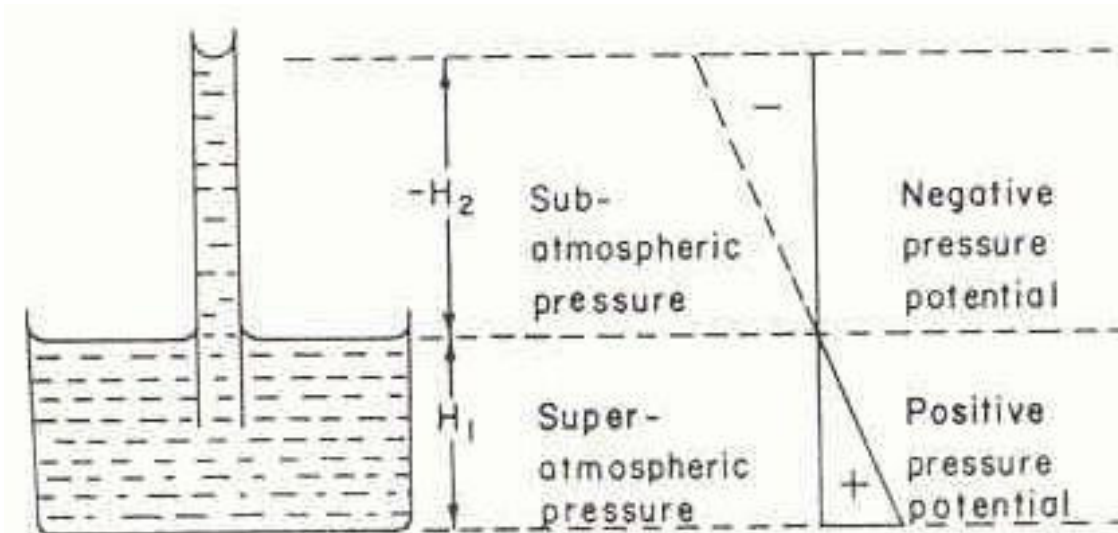


Figura 1. Presiones superiores e inferiores a la atmosférica por encima y por debajo de la superficie libre del líquido

La tensión mátrica en el suelo no saturado es debida a la capilaridad y la adsorción del agua a las partículas sólidas. En la figura 2 se presenta un esquema en el que se aprecian los dos efectos.

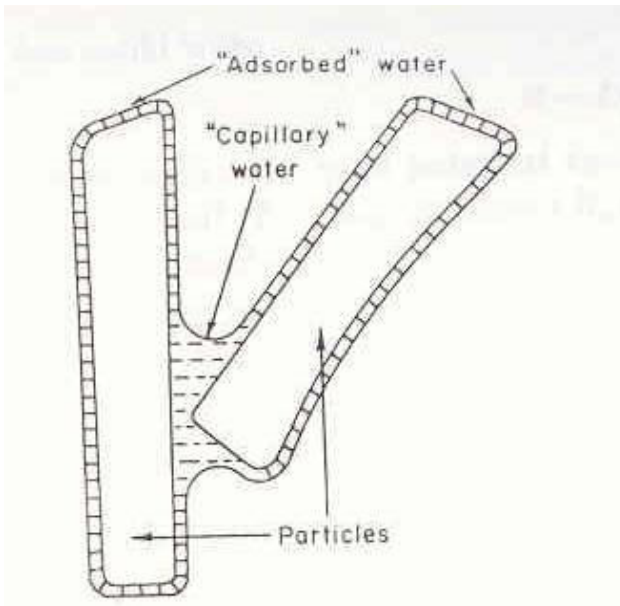


Figura 2. Agua en suelo no saturado sujeta a adsorción y capilaridad. La combinación de ambos da lugar a la tensión mátrica

La tensión que existe en el agua como consecuencia de la formación de una superficie cóncava de radio de curvatura r , cuando el agua se encuentra en un poro cilíndrico viene dada por:

$$\Delta P = 2\sigma \cos \alpha / r$$

Donde ΔP significa la diferencia de presión entre el aire en contacto con la superficie del sólido, si el agua moja perfectamente el sólido $\alpha = 0$

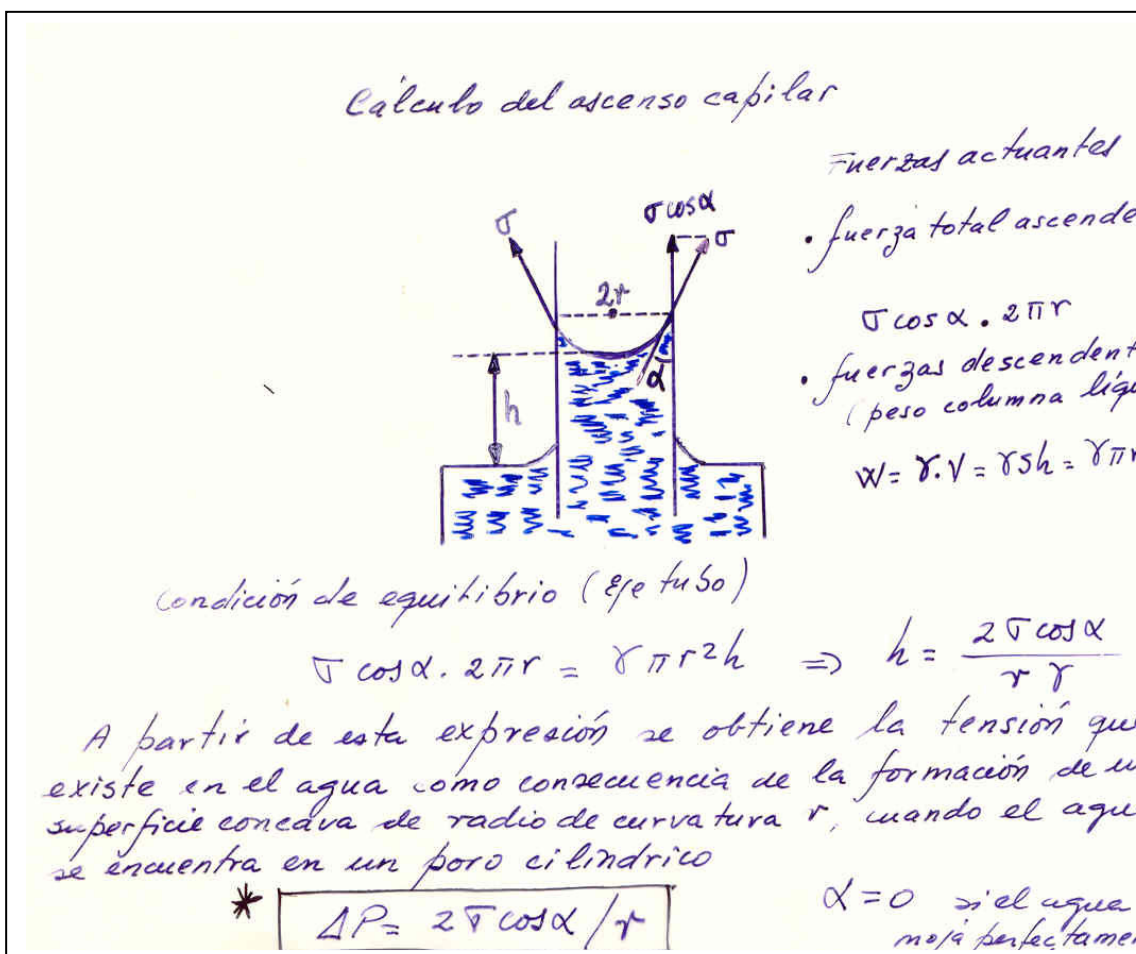


Figura 3.- Representación de las fuerzas actuantes que determinan el ascenso capilar en un poro cilíndrico.

Potencial osmótico. Esta componente es debida al efecto que los solutos tienen sobre la energía de las moléculas de agua, lo que supone una disminución de la energía potencial del agua en solución respecto al agua pura. Expresado como energía por unidad de volumen, el potencial osmótico viene dado por:

$$\Psi_o \text{ (atm)} = -MRT$$

Donde Ψ_o es el potencial osmótico en atmósferas, M la molalidad de la solución (moles de soluto/kg disolvente), R la constante universal de los gases en las unidades apropiadas (0.082 atm L/K mol) y T la temperatura absoluta en K.

En la figura 4 se ilustra el efecto de los solutos sobre la energía del agua a través del concepto ósmosis. La presión desarrollada por el efecto ósmosis hace que se establezca un equilibrio energético entre ambas soluciones, de modo que la diferencia de presión entre ambos niveles se denomina presión osmótica. La presión osmótica es la presión que debe ser aplicada a la solución para compensar la ósmosis

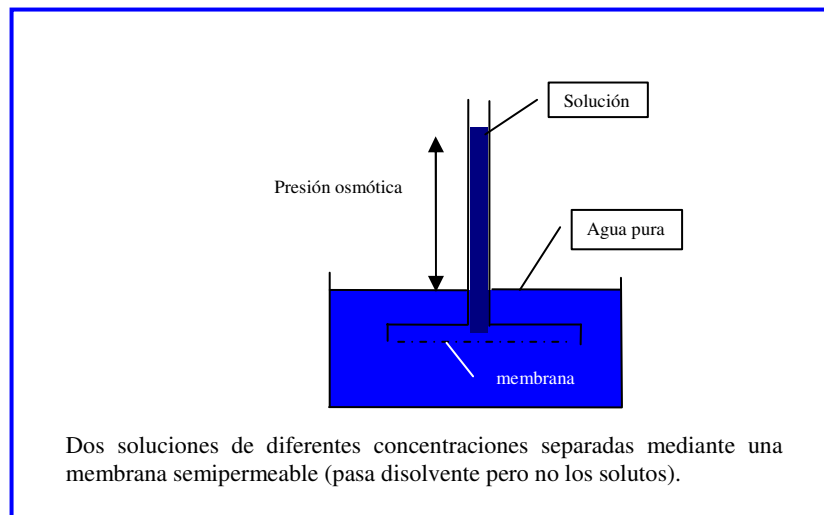


Figura 4.- Representación del efecto ósmosis.

En el suelo es de uso frecuente el llamado *potencial hidráulico*, Ψ_H , que se define como la suma del potencial de presión y del gravitatorio.

$$\Psi_H = \Psi_p + \Psi_g$$

El agua se desplaza espontáneamente de puntos de mayor energía a los de menor energía, no obstante los componentes a tener en cuenta son sólo el Ψ_p y el Ψ_g . Esto es debido a que el Ψ_o sólo afecta al movimiento del agua cuando hay una barrera semipermeable, tal es el caso de las membranas celulares en las plantas.

$$\Psi_{oe} \text{ (atm)} = -0,36 \text{ CE}_e \text{ (dS/m)}$$

1.5.- Curvas características de humedad

Se denominan así a las curvas que relacionan el contenido de agua con el Ψ_p . En general, estas curvas se obtienen en el laboratorio utilizando muestras inalteradas de suelo y un equipo de placas de presión (cámara de presión de Richards)

En las figuras 5 y 6 se presentan curvas de este tipo para diversos casos (la tensión o succión del agua es igual a $-\Psi_p$).

El contenido de agua de un suelo a bajas succiones es función, principalmente, de su estructura, mientras que a altas tensiones el factor determinante es la textura. Esto es debido a que la estructura determina la proporción de poros grandes, mientras que la textura determina la proporción de poros pequeños.

Un fenómeno que hace no unívoca la relación entre contenido de agua y su tensión es la histéresis (Figura 7); es decir, a un mismo potencial le corresponden dos contenidos de humedad, según se considere que se ha llegado a ese contenido de agua a través de un proceso de pérdida de agua (deseccación) o de absorción (humectación). Este hecho obliga a que cuando se necesite conocer con exactitud el contenido de agua de un suelo o su potencial haya que recurrir a su medida directa.

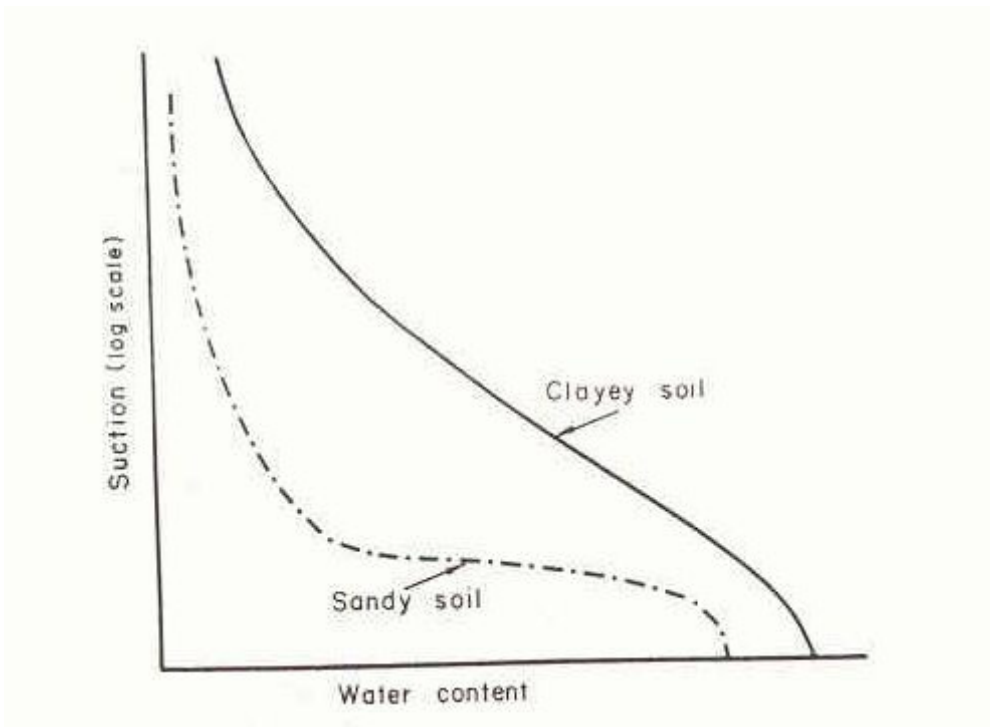


Figura 5. Efecto de la textura en la retención del agua por el suelo

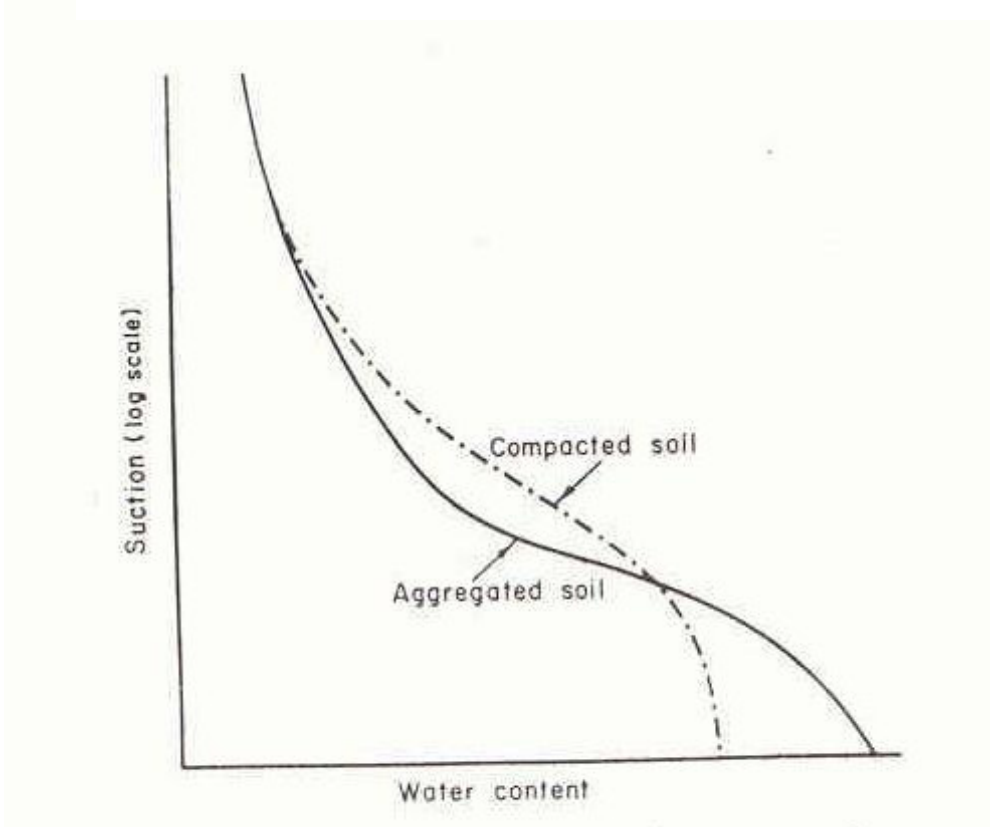


Figura 6. Efecto de la estructura en la retención del agua por el suelo

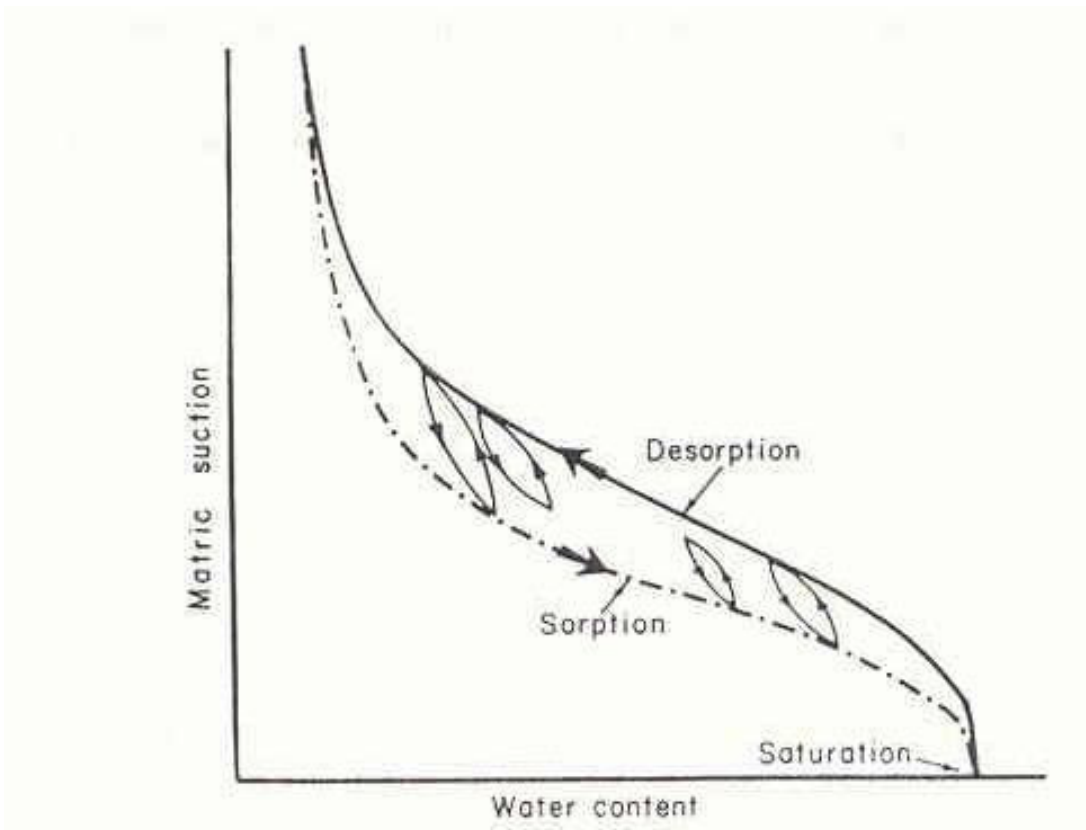


Figura 7. Representación del fenómeno de histéresis

1.6- Ejercicios

¿Qué succión o tensión tendría el agua de un suelo en la que los poros más grandes que están sin vaciar de agua tienen un diámetro de 2×10^{-4} cm? Suponer un ángulo de contacto de cero y poros cilíndricos. Tensión superficial del agua a $20^\circ\text{C} = 7.28 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}$. Sol. 1,46 bar

El rango de potencial de agua de interés agrícola es de 0.1 a 15 bares. Calcular el radio de curvatura de los meniscos de agua en el suelo para estos dos potenciales suponiendo que el ángulo de contacto es cero. Sol. A) $14.16 \mu\text{m}$. b) $0.097 \mu\text{m}$.

En un suelo cuya agua está en equilibrio (No existe flujo) con una capa freática a 70 cm de profundidad. Calcular Ψ_g , Ψ_p y Ψ_H ; en centibares a las profundidades de: 0, 30, 70 y 100 cm . Tómesese la superficie del suelo como nivel de referencia ($z = 0$)

| Profundidad Ψ_p cm | Ψ_g (Centibares) | Ψ_H |
|----------------------------|--------------------------|----------|
| 0 | | |
| -30 | | |
| -70 | | |
| -100 | | |

Un suelo presenta la capa freática a 80 cm de profundidad. No se produce flujo en ningún sentido (potencial hidráulico cte, agua en equilibrio). Calcúlese Ψ_g , Ψ_m , Ψ_h y Ψ_H a las profundidades de 0, 30, 60, 80, 110 y 150 cm, sin tener en cuenta el Ψ_o , en centibares. Tomese la superficie del suelo como nivel de referencia.

| Profundidad (cm) | Ψ_g | Ψ_m | Ψ_h | Ψ_H |
|---------------------|------------|----------|----------|----------|
| | centibares | | | |
| 0 | | | | |
| 30 | | | | |
| 60 | | | | |
| 80 | | | | |
| 110 | | | | |
| 150 | | | | |