

# DETERMINACION DE HUMEDAD GRAVIMETRICA DE SUELOS. SU CORRELACION CON SENSORES DE HUMEDAD.

Gretel Hansen  
Pasante – Centro de Estudios Hidro-Ambientales (FICH-UNL).  
Estudiante de Ingeniería Ambiental (FICH-UNL).  
\*gretel\_hansen5@hotmail.com

**Palabras claves:** Variables hidro-ambientales – Humedad de suelos – Sensores.

**Área temática:** Ingeniería

**Sub-área:** Ambiental

## INTRODUCCIÓN

El monitoreo continuo de variables hidrometeorológicas demanda visitas periódicas a los sitios de medición a un costo considerable. Una solución atractiva es recurrir al uso de microcontroladores *Arduino*, que son plataformas electrónicas accesibles con códigos abiertos, lo que permite interactuar en forma directa y sencilla con dispositivos que “sensan” el medio ambiente. Estas plataformas reducen los costos en un orden de magnitud en contraste con las alternativas comerciales cerradas (Fisher, 2012).

El Centro de Estudios Hidro-Ambientales (CENEHA) ha adaptado, en los últimos años, la funcionalidad de dispositivos comerciales de medición de variables hidrometeorológicas, mediante el incremento de su capacidad de almacenamiento, la incorporación de transmisión inalámbrica, y su gestión remota a un costo sustancialmente inferior al ofrecido por los fabricantes (López, 2014).

## OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es contrastar lecturas producidas por sensores de distinta manufactura con resultados de ensayos de gravimetría a los efectos de determinar su funcionamiento en condiciones ambientales controladas. Una segunda parte del trabajo buscará obtener curvas de calibración en al menos dos tipos diferentes de suelos, y en condiciones ambientales no controladas.

## METODOLOGÍA

### Ensayo 1: Hydra Probe II vs. Gravimetría

A la fecha se realizaron una serie de ensayos de laboratorio con la intención de obtener una curva de calibración para unos sensores de bajo costo, uno de humedad y otro de temperatura, ambos administrados desde una placa Arduino (López et al., 2015). Las lecturas de humedad de suelo fueron contrastadas con resultados obtenidos por gravimetría (Hillel, 1998) y por los valores arrojados por la sonda comercial multiparamétrica Stevens. La idea era validar la sonda Hydra Probe II de Stevens para tomar luego sus lecturas como parámetro “real”, para lo que primeramente se debió comprobar el grado de exactitud de sus mediciones.

*Equipamiento Utilizado:* Tamizador, vasos de precipitado de 1000 ml debidamente rotulados (nueve en total), recipiente de volumen conocido, arena limpia y bien graduada, del tipo limosa o fangosa con diámetro medio aproximado de 0,0625mm, balanza de

**Proyecto acreditado en el que se enmarca la investigación:** Sobre la aceleración del ciclo hidrológico en territorio santafesino, y el desarrollo de instrumental para su monitoreo. PIP CONICET 112-20100100384.

**Director:** Dr. Carlos Vionnet. **Co-directora pasantía:** Dra. Andrea Gómez.

precisión con capacidad de hasta 3kg, con una sensibilidad de decima de gramo, agua, probeta de 100 ml, sonda multiparamétrica Stevens, placa de Arduino conectada a sensores de temperatura y humedad.

*Humectación de las Muestras:* Se dispuso en cada uno de los nueve vasos de precipitado un volumen conocido de arena ( $801,164 \text{ cm}^3$ ) y se humedecieron tres de los mismos con 28% del volumen total de arena, otros tres con 33% y por último los tres restantes con 37%, de manera de que cada humectación se lleve a cabo por triplicado. Se dejó luego estabilizar las muestras para que la humedad se distribuya uniformemente.

*Secado de las Muestras:* Para determinar la humedad por gravimetría se toman distintos pesajes previos: i) vaso vacío de cada muestra, ii) vaso con la arena húmeda, y iii) vaso con arena seca. Luego se leen los valores correspondientes al contenido de humedad con la sonda Stevens para luego introducir las nueve muestras en la estufa a  $110^\circ\text{C}$  durante 24hs. Una vez transcurrido el tiempo de secado se retiran de la estufa, se dejan enfriar y se pesan. Complementariamente se calculó la densidad aparente de las muestras con un valor medio de  $1.458 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  y una porosidad de 44,3%, considerando una densidad real de  $2,65 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  (arena cuarzosa) (Hillel, 1998).

## **Ensayo 2: Hydra Probe II vs Arduino**

En un segundo ensayo se utilizó una sonda Stevens, un sensor de temperatura y otro de humedad, estos últimos controlados por una plataforma Arduino. Los pasos adoptados para verificar si los sensores de bajo costo funcionaban dentro de los márgenes esperados fueron los siguientes: i) se rompió la estructura de las nueve muestras de suelo utilizadas en el Ensayo 1 (ya secas), y se procedió a humedecerlas directamente con el 28%, 33%, 35% de agua, en volumen total de la muestra de arena, ii) se hizo el respectivo pesaje antes y después de humedecer las muestras para la posterior determinación gravimétrica, iii) se procedió a tomar los valores instantáneos de humedad y temperatura con la sonda Stevens (Hydra Probe II) y el sensor de bajo costo una vez estabilizado el contenido de humedad en la muestra. Luego, se colocaron los dispositivos simultáneamente en la muestra con el fin de verificar si existía algún tipo de interferencia en las lecturas.

## **RESULTADOS**

**Ensayo 1:** En la Tabla 1 se detallan los valores experimentales obtenidos, se utiliza  $W_r$  para denotar el peso del recipiente que contiene la muestra. La leyenda "falta" se debe a datos que por error no fueron registrados.

En la Figura 1 se grafica la variación de la humedad gravimétrica ( $\theta_g = M_w/M_s$ ) vs la lectura del Hydra Probe,  $\theta$ . El aparente desfase desaparece al realizar el cociente  $\theta/\theta_g$ , las cuales prácticamente coinciden con el valor experimental de la densidad aparente, pb Figura 2.

#	$W_r$ (gr)	$W_r + W_t$ (gr)	$W_r + W_s$ (gr)	$V_w$ (ml)	$W_t$ (gr)	$W_s$ (gr)	$\theta_g$ (%)	$\rho_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\theta$ (%)
1	288,0	1679,9	1459,8	225	1391,9	1171,8	18,78	1,463	18
2	246,1	1624,3	1409,1	225	1378,2	1163,0	18,50	1,452	22
3	270,2	1703,3	1424,9	225	1433,1	1154,7	24,11	1,441	21
4	290,5	1715,9	1562,9	300	1425,4	1272,4	12,02	1,588	37
5	369,9	1851,6	1462,4	300	1481,7	1092,5	35,62	1,364	37
6	278,1	1742,9	1453,9	300	1464,8	1175,8	24,58	1,468	36
7	251,6	1716,3	1407,9	265	1464,7	1156,3	26,67	1,443	33
8	290,5	falta	1585,3	265	falta	1294,8	falta	1,616	36
9	296,5	1836,3	1453,9	265	1539,8	1157,4	33,04	1,445	31

Tabla 1: Hydra Probe II vs. Gravimetría.

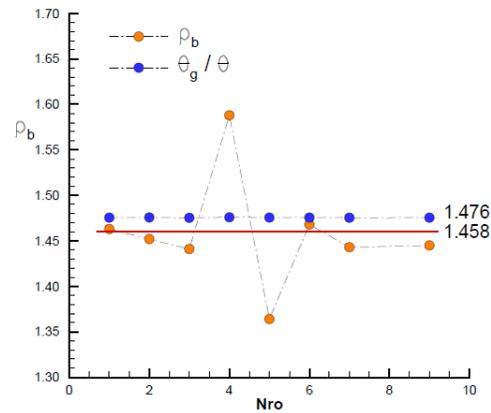
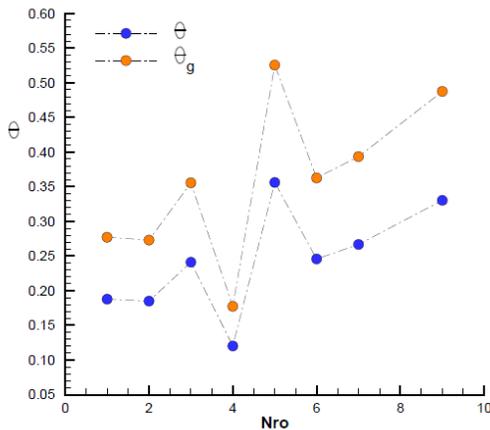


Figura 1: Registro de *humedad* para cada muestra. Figura 2: Razón  $\theta/\theta_g$  vs  $\rho_b$

**Ensayo 2:** Se evidenció que el sensor de humedad de bajo costo era marcadamente sensible a la presencia de la sonda Stevens, y en menor medida al sensor de temperatura, por lo que se procedió a medir con un dispositivo a la vez. Por otra parte, se determinó que el sensor de humedad se estabiliza rápidamente cuando la muestra permanece en saturación. Por el contrario, para muestras poco saturadas, la lectura oscila aunque siempre en forma decreciente.

#	$W_r$ (gr)	$W_r + W_t$ (gr)	$W_r + W_s$ (gr)	$V_w$ (ml)	$W_t$ (gr)	$W_s$ (gr)	$\theta_g$ (%)	$\rho_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\theta$ (%)
1	251,6	1682,2	1461,6	224	1430,6	1210,0	18,23	1,5	26
2	296,5	1804,3	1586,0	224	1507,8	1289,5	16,93	1,6	30
3	396,5	1783,3	1563,4	224	1386,8	1166,9	18,84	1,5	25
4	290,5	1666,1	1409,4	265	1375,6	1118,9	22,94	1,4	35
5	270,2	1745,8	1487,4	265	1475,6	1217,2	21,23	1,5	32
6	278,1	1713,4	1455,3	265	1435,3	1177,2	21,92	1,5	35
7	246,1	1683,2	1410,1	281	1437,1	1164,0	23,46	1,5	35
8	288,0	1730,5	1460,8	281	1442,5	1172,8	23,00	1,5	35
9	290,5	1697,5	1425,7	281	1407,0	1135,2	23,94	1,4	36

Tabla 2: Hydra Probe II vs. Gravimetría

Los datos experimentales se encuentran en la Tabla 2. Se encontró una relación aproximadamente lineal entre los datos de humedad obtenidos con el Stevens y los valores de resistividad registrados por la placa Arduino (Figura 3). La temperatura registrada por la placa Arduino arrojó valores, cualquiera fuera la condición de la muestra, muy similares a los obtenidos por la sonda multiparamétrica Stevens (Figura 4).

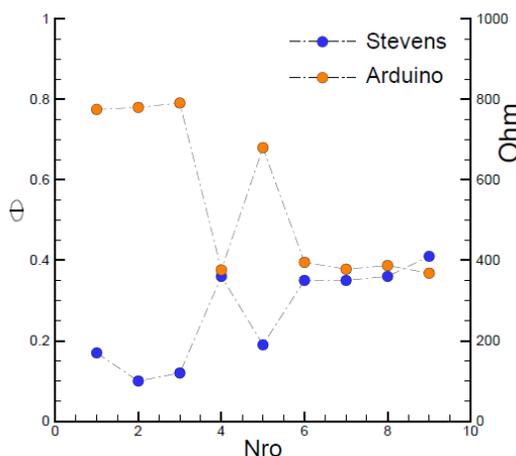


Figura 3: Registro de  $\Theta$  (%) y resistividad  $R$  para cada sonda.

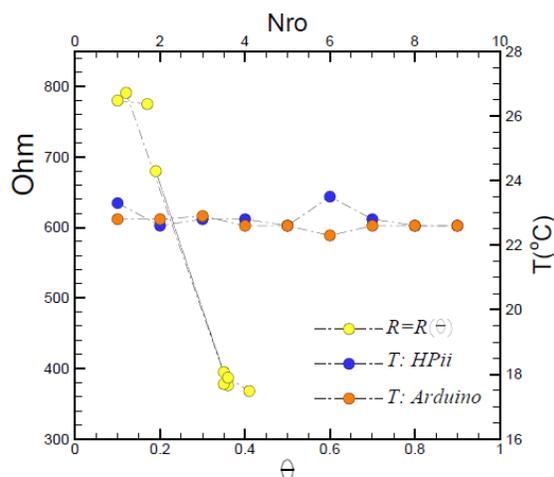


Figura 4: Relación  $R = R(\Theta)$

## CONCLUSIÓN

En general, en condiciones controladas de laboratorio se obtuvieron resultados exitosos, ya que las lecturas producidas por sensores del tipo de la sonda HydraProbe II son acordes con los resultados de ensayos de gravimetría. No obstante, la información generada por sensores económicos de humedad de suelo aun presenta aspectos técnicos irresueltos, como por ejemplo su comportamiento en situaciones de campo no controladas, por lo que a futuro se pretende contrastar las mediciones con la sonda Stevens Hydra Probe II en estas situaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

**Fisher, D. K.**, 2012. Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research, *Modern Instrumentation*, 1 (2), 8–20.

**Hillel, D.**, 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, Londres.

**López, E. P.**, 2014. Diseño e implementación de un dispositivo de medición hidroambiental basado en hardware libre gestionado por un sistema de monitoreo remoto, Mariana Pérez Elena, Propuesta Tesina Ing. Informática, FICH-UNL, Santa Fe.

**López, E. P., M. P. Elena, C. A. Vionnet, G. R. Hansen, E. Veizaga, y A. A. Gómez**, 2015. Instrumental de monitoreo hidroambiental basado en hardware libre, in IV MEH, Universidad Nacional de La Plata.