



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



**INFORME DE PRUEBA CONTROLADA DE PORCENTAJE DE
HUMEDAD Y CO₂ EN SUELO, CON UNA CÁMARA DE
RESPIRACIÓN DE SUELO**

**PRESENTADO A:
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
CENTRO DE INVESTIGACIONES HIDRÁULICA E
HIDROTÉCNICAS**

**Informe elaborado por:
Mayra Cedeño
Eny Serrano**

Octubre 2009



PROYECTO: COL07-011 “CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO A TRAVÉS DE UN BOSQUE TROPICAL HÚMEDO EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ”

ACTIVIDAD: PRUEBA DE PORCENTAJE DE HUMEDAD Y RESPIRACIÓN DE SUELO EN CONDICIONES CONTROLADAS

OBJETIVO: OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DEL CO_2 DEL SUELO, Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE SUELO EN CONDICIONES CONTROLADAS.

El Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la Universidad Tecnológica de Panamá realiza un estudio sobre la “CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO A TRAVÉS DE UN BOSQUE TROPICAL HÚMEDO EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ, bajo el auspicio de la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), por lo cual se están desarrollando diferentes pruebas de contenido de carbono, porcentaje de humedad y temperatura en los diferentes escenario que presenta un bosque tropical húmedo.

Este informe contiene datos obtenidos de las pruebas contraladas desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica realizada por: Mayra Cedeño y Eny Serrano, desde el 1 hasta el 14 de octubre de 2009.

Materiales: tamiz, pala, pico, tierra, arena, tubo de acrílico de 11.81” \varnothing con una longitud de 0.72 m, cinta métrica, sensores de humedad, cámara de respiración de suelo (LI_6499XT), computadoras, malla de sarán, balanza, tenazas, vaso químico, crisoles de gerber, horno, cuchara de metal con espátula, deshumificador, sensor de Humedad de suelo, Probeta de 1000 ml plástica, agua de río.



Desarrollo de la Actividad: para realizar esta prueba fue necesario coleccionar tierra, secarla y tamizarla para reducir al mínimo el contenido de materia orgánica en el suelo.

Procedimiento:

1. Colectar las muestras de suelo (1.5 m³ de tierra aproximadamente)
2. Tamizar el suelo
3. Secar el suelo
4. Armar el equipo colocando filtros dentro de los cilindros, una malla que separe la tierra de la arena.
5. Llenar el cilindro con la tierra tamizada (0.53 m³ aproximadamente)
Colocar los sensores de humedad de suelo (Sensor de Humedad 1 (SH1): 17 cm + 20 = 37 cm, Sensor de Humedad 2 (SH2): 38 cm + 20 = 58 cm , y programarlos para cada 15 minutos, en la primera prueba y 20 minutos para la segunda prueba).
6. Tomar 150 gramos de la muestra de suelo seco, colocarla dentro del crisol de gerber y pesarla.
7. Agregar 600 ml de agua sin cloro (agua de río o lluvia) al cilindro con el suelo tamizado.
8. Esperar 20 minutos a que el agua se infiltre y tomar una muestra de suelo (3 cdt), y pesarla
9. Tomar una muestra con la cámara de respiración de suelo
10. Verificar el contenido volumétrico de agua con los sensores, tiempo y temperatura.
11. Nuevamente rociar 600 ml de agua sin cloro y esperar 20 min. Para repetir el procedimiento.

Nota: este ciclo se repite desde el punto nueve (9), hasta que el equipo llegue a su máxima capacidad o, el suelo este muy saturado en agua, una vez haya transcurrido los 20 minutos correspondientes.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



Cronograma



Tabla 1. Cronograma de Pruebas

Prueba	Tierra Tamizada	Prototipo Armado	Primera Prueba realizada	Paso de tiempo en las mediciones	Hora de inicio	Hora Final	Observación
1	01 de octubre de 2009	06 de octubre de 2009	07 de octubre de 2009	15 minutos	11:00 a.m.	4:30 p.m.	Prueba Cancelada (el horno para secar las muestra no estaba calibrado)
2	14 de octubre de 2009	13 de Octubre de 2009	14 de octubre de 2009	20 minutos	09:20 a.m.	09:36 p.m.	Prueba terminada transcurridos 30 minutos desde la última prueba, el suelo estaba muy saturado y se estimo finalizar la misma



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



Equipo y Características

1. BALANZA GRANATARIA



Es uno de los instrumentos más utilizados en el laboratorio y su objetivo es determinar o pesar la masa de objetos. Suele tener capacidades de 2 ó 2.5 kg y medir con una precisión de hasta 0.1 ó 0.01g. No obstante, existen algunas que pueden medir hasta 100 ó 200 g. con precisiones de 0.001g.

Es muy utilizada en laboratorio como instrumento de medición auxiliar, ya que su precisión es menor que la de una balanza analítica, tiene una mayor capacidad que ésta y permite las mediciones con más rapidez y sencillez, así como su mayor durabilidad y menor coste.

2. HORNO DE LABORATORIO JP SELECTA



Utilizado para el secado de la tierra antes de la medición, cuenta con una capacidad desde 19 a 150 litros. Regulación por microprocesador. Para temperaturas desde ambiente más 5°C hasta 80°C. cumple con normas internacionales, puerta interior de cristal templado.

3. SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO



Es un sensor dieléctrico de bajo costo para medir el contenido volumétrico del agua en suelos y otros medios porosos. Esto se realiza midiendo la constante dieléctrica y calculando la velocidad de cambio de voltaje aplicado al sensor una vez enterrado en el suelo. El agua tiene una permisividad alrededor de 80, la parte mineral cercana a 4 y el aire un valor de 1. Cuando el contenido de agua del suelo cambia, su permisividad refleja grandes variaciones.

4. LI-COR 6400:



Se trata de un equipamiento portátil que integra las medidas simultáneas, controladas independientemente, de radiación (PAR, 400-700 nm), evolución de la concentración de CO_2 , humedad relativa y de temperatura en el interior de un dispositivo en el que inserta la muestra.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas

E	VOL (ml)	ti (hora)	tf (hora)	Min.	Pc (gr)	Ps (gr)	Pm (gr)	%H	HP1 (m ³ /m ³)	HP2 (m ³ /m ³)	% LICOR	Prof (cm)	K (cm/ min)	T (°C)		
B	0	9:20	9:23 AM		75.8	85	86.9	17.117	0.073	7.3	0.069	6.9	Sup.	0	29.65	
1	600	9:43	9:49 AM	26.00	75.3	81.1	84.2	34.831	0.075	7.5	0.07	7	63	2.5	0.10	26.27
2	1200	10:08	10:15 AM	26.00	75.4	80.1	82.9	37.333	0.075	7.5	0.072	7.2	64	5	0.10	26.4
3	1800	10:31	10:41 AM	26.00	74.9	83.1	88.2	38.346	0.075	7.5	0.072	7.2	65	11	0.23	26.9
4	2200	10:55	11:07 AM	26.00	75.1	80	82.8	36.364	0.077	7.7	0.072	7.2	64	12	0.04	27.3
5	2800	11:23	11:33 AM	26.00	75.7	83.2	87.4	35.897	0.077	7.7	0.072	7.2	64	14	0.08	27.7
6	3200	11:44	11:59 AM	26.00	75.6	82.4	86.8	39.286	0.078	7.8	0.113	11.3	64	17	0.12	28
7	3800	12:06	12:25 PM	26.00	75.7	83.5	88	36.585	0.078	7.8	0.126	12.6	63	19	0.08	28
8	4200	12:30	12:51 PM	26.00	75.2	82.1	86.2	37.273	0.078	7.8	0.213	21.3	62	21	0.08	28.8
9	4800	12:55	1:17 PM	26.00	73.5	81.4	86.1	37.302	0.078	7.8	0.249	24.9	64	23	0.08	29
*10	5200	1:23	1:43 PM	26.00	75.3	82.9	87.6	38.211	0.078	7.8	0.281	28.1	65	26	0.12	29.7
11	5800	1:48	2:09 PM	26.00	74.6	83.5	88.8	37.324	0.079	7.9	0.304	30.4	74	30	0.15	29.8
12	6200	2:12	2:35 PM	26.00	77	82.6	86	37.778	0.078	7.8	0.338	33.8	71.9	33	0.12	30.29
13	6800	2:44	3:01 PM	26.00	77.7	84.5	88.7	38.182	0.078	7.8	0.345	34.5	76	36	0.12	29.57
*14	7200	3:18	3:27 PM	26.00	76.7	86.1	91.4	36.054	0.079	7.9	0.348	34.8	78.7	39	0.12	29.15
15	7800	3:42	3:53 PM	26.00	76.3	82.2	85.9	38.542	0.079	7.9	0.349	34.9	81.84	42	0.12	28.7
16	8200	4:10	4:19 PM	26.00	76.1	87.2	93.5	36.207	0.079	7.9	0.349	34.9	82	43	0.04	28.8
17	8800	4:34	4:45 PM	26.00	74.9	85.3	91.1	35.802	0.085	8.5	0.349	34.9	82	45	0.08	28.7

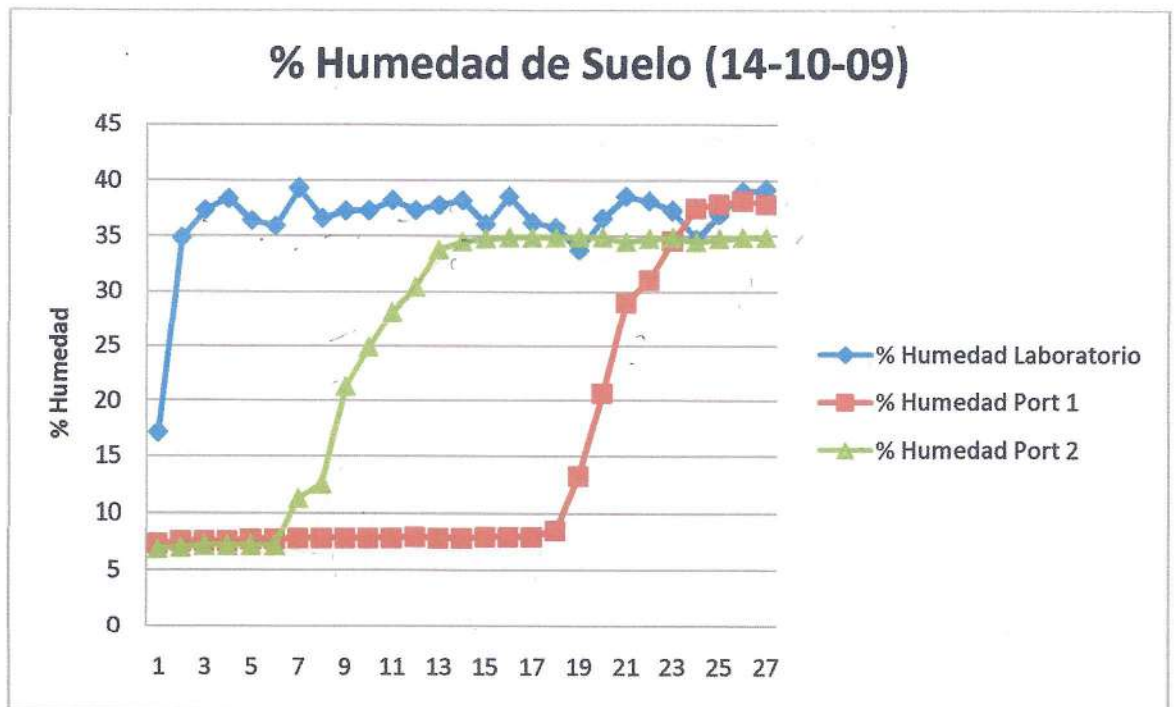


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



18	9200	4:59	5:11 PM	26.00	75.8	87.2	93	33.721	0.133	13.3	0.349	34.9	88.7	47	0.08	27.9
19	9800	5:27	5:37 PM	26.00	75.1	84.8	90.4	36.601	0.207	20.7	0.349	34.9	85	49	0.08	27.5
20	10200	5:55	6:03 PM	26.00	75.9	85.3	91.2	38.562	0.29	29	0.345	34.5	85	52	0.12	27.8
21	10800	6:23	6:29 PM	26.00	75.4	87.4	94.8	38.144	0.311	31.1	0.348	34.8	80.75	55	0.12	27.33
22	11200	6:50	6:55 PM	26.00	75.2	83.1	87.8	37.302	0.346	34.6	0.349	34.9	88.4	58	0.12	27.1
*23	11800	7:32	7:21 PM	26.00	76	87.1	93	34.706	0.375	37.5	0.345	34.5	81.59	61	0.12	26.5
24	12200	7:53	7:47 PM	26.00	74.9	85.5	91.7	36.905	0.379	37.9	0.348	34.8	85	65(A)	0.15	26.5
25	13200	8:20	8:13 PM	26.00	75.5	83	87.8	39.024	0.382	38.2	0.349	34.9	88	72(A)	0.27 (4 ens.)	26.5
26	14200	9:17	8:39 PM	26.00	76.6	84.2	89.1	39.2	0.379	37.9	0.349	34.9	88.5	72(A)	0.00	26.5

Grafica 1. Datos de Porcentaje de Humedad de Suelo



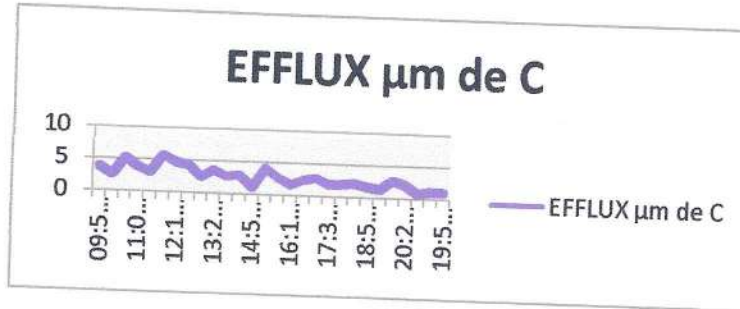
La franja azul indica las muestras de suelo secadas, la franja roja presenta el los datos registrados por el sensor de humedad que estaba en la parte superior del cilindro donde se registraba la prueba, el verde representa el segundo sensor de humedad colocado en la parte inferior del cilindro, y las líneas purpuras presentan los primeros datos registrados por la cámara de respiración de suelo LI-6400.



Tabla 3. Resultados de Li- 6400 XT

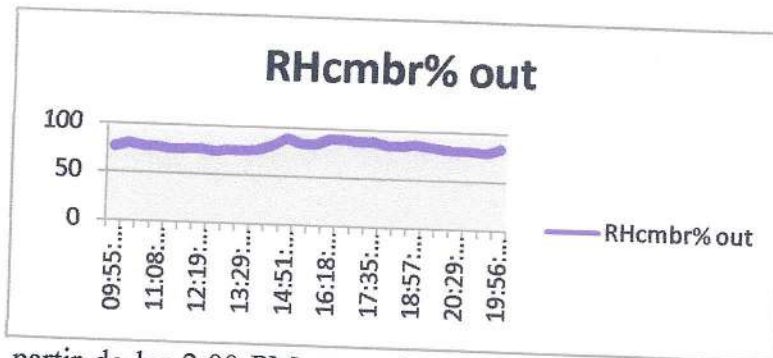
Obs	HHMMSS inicial	HHMMSS final	EFFLUX	RHcmbr%	Tsoil_C	CO2S	H2OS
in	in		out	out	out	in	in
B	09:55:38	09:58:34	3.85241298	76.7129957	26.5755712	384.921426	31.7729164
1	10:19:27	10:23:47	2.63284665	80.2582173	26.2690669	384.129868	34.9483063
2	10:44:02	10:46:18	5.31043062	77.5101916	26.4630308	385.836816	35.5541834
3	11:08:16	11:10:46	4.00277962	77.4565722	26.8941141	372.889263	36.2026781
4	11:33:58	11:37:32	3.08636208	75.2364325	27.3629153	384.672266	37.5873391
5	11:59:02	12:00:56	5.80758736	75.8750684	27.7879315	380.150226	37.6572933
6	12:19:08	12:21:19	4.78404042	76.6727519	28.1884466	379.421887	38.6169756
7	12:42:33	12:44:47	4.36924515	73.8322802	28.5285604	379.027463	39.6539275
8	13:04:33	13:09:01	2.46632891	75.8600057	28.8667344	378.341697	40.7375516
9	13:29:53	13:32:51	3.64432339	75.1807155	29.2155212	378.74189	41.5696955
10	13:58:55	14:02:42	2.72029883	76.2701524	29.7133756	379.290205	40.0907255
11	14:23:14	14:26:57	2.97811958	81.2170185	30.0198573	385.054955	37.284257
12	14:51:03	15:01:54	1.0536788	89.1229114	30.0716031	382.87638	35.5299418
13	15:19:48	15:22:09	4.12544611	84.4908388	29.5489764	401.961109	33.4888257
14	15:54:25	15:57:33	2.71000134	83.7930591	29.0045198	398.291852	34.3656519
15	16:18:25	16:25:16	1.62939047	88.9394422	28.7819401	397.903311	34.5476084
16	16:46:35	16:51:02	2.44626329	89.6679962	28.521502	398.26336	33.8177988
17	17:10:44	17:14:21	2.77506288	87.5751842	28.1588814	397.218454	33.5775395
18	17:35:29	17:41:59	1.8593992	88.4283599	27.8744095	394.932035	33.1692051
19	18:04:35	18:10:10	1.95558609	85.2641463	27.5556197	395.911384	32.1465952
20	18:32:19	18:37:33	2.12867673	84.200843	27.4134085	402.96031	32.6902216
21	18:57:39	19:04:33	1.67955222	86.443526	27.2857783	408.92178	32.4607385
22	19:26:34	19:34:44	1.32593961	84.5180277	27.1823666	408.728818	31.7062662
23	20:05:58	20:10:03	2.68320063	82.3775823	26.9374143	419.416539	31.4693342
24	20:29:16	20:34:27	2.00495599	81.1700151	26.8990071	409.094809	31.4403973
25	21:19:18	21:21:43	0.76005953	81.0895557	26.6055844	435.204388	31.2323081
26	21:22:31	21:25:14	1.13176471	79.9866045	26.6109862	429.98718	31.4521663
27	19:56:01	23:05:37	1.07933958	84.6715202	26.4723025	429.57422	32.0639873

Grafica 2. Niveles de flujo de Carbono de Suelo



El flujo de carbono del suelo para esta prueba se mantuvo en un rango de 0.7 a 6 $\mu\text{m de Carbono}$. Se observa que al transcurrir el tiempo el flujo de carbono de suelo disminuye, esto es por el nivel de saturación de agua en el suelo.

Grafica 3. Porcentaje de Humedad de Suelo dentro de la Cámara

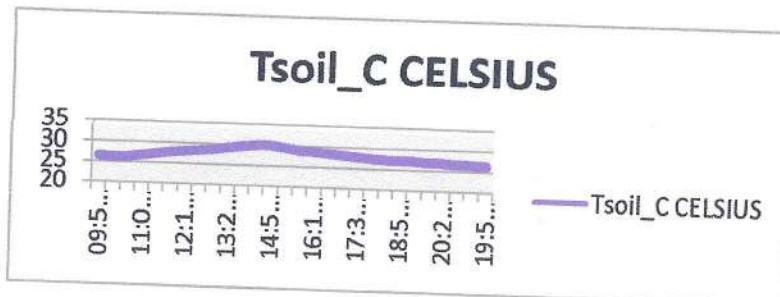


El porcentaje de humedad del suelo dentro de la cámara estuvo en el 70 y 90 por ciento manteniéndose constante durante todo el periodo de medición.

Es importante señalar que, en horas de la mañana el clima estaba soleado, pero a

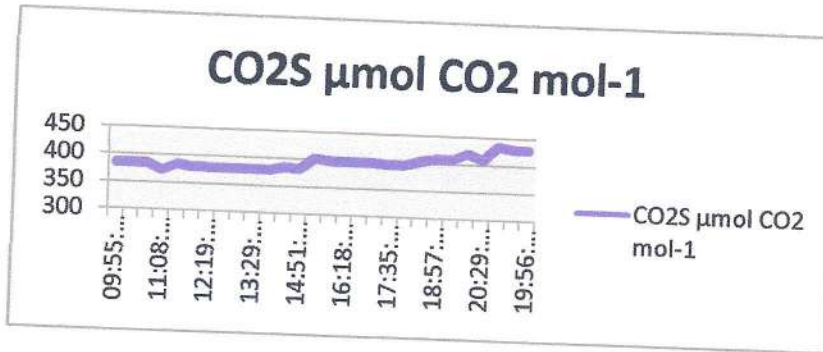
partir de las 2:00 PM empezó a llover, esto pudo influenciar el porcentaje de humedad dentro de la cámara, sumado a la inducción del agua cada 20 minutos dentro del cilindro donde se presenta la prueba.

Grafica 4. Temperatura de suelo



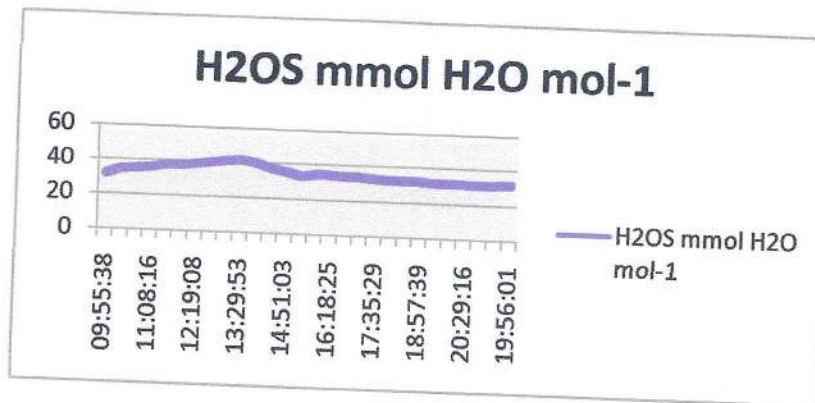
La temperatura de suelo varió entre 26 y 30° Celsius, esto se debió al cambio de clima que se manifestó durante el periodo de medición, como se había mencionado en la gráfica de porcentaje de humedad.

Grafica 5. CO₂ del Suelo



Durante el periodo de medición se observó que la concentración de CO₂ del suelo, incrementó hasta alcanzar los 430 μmol.

Grafica 6. H₂O del Suelo



Uno de los objetivos principales de esta prueba fue verificar el porcentaje de humedad que resiste el equipo bajo condiciones extremas de humedad, con este fin se satura el suelo con agua, durante un tiempo descrito con anterioridad, sin

embargo, la gráfica muestra que la cantidad de agua de suelo durante las primeras horas de la mañana fue incrementando, no obstante, para la tarde fue descendiendo hasta mantenerse constante.

APLICACIÓN DEL MODELO HYDRUS 3D A LA PRUEBA DE RESPIRACIÓN DE SUELO Y HUMEDAD, REALIZADA EL 14 DE OCTUBRE DE 2009.

Se implementó el modelo Hydrus 3D como aporte a la prueba de respiración de suelo y contenido de humedad. La simulación fue realizada para un período de 24 horas, a partir de la hora de inicio de la prueba de respiración de suelo (9:23 a.m.)

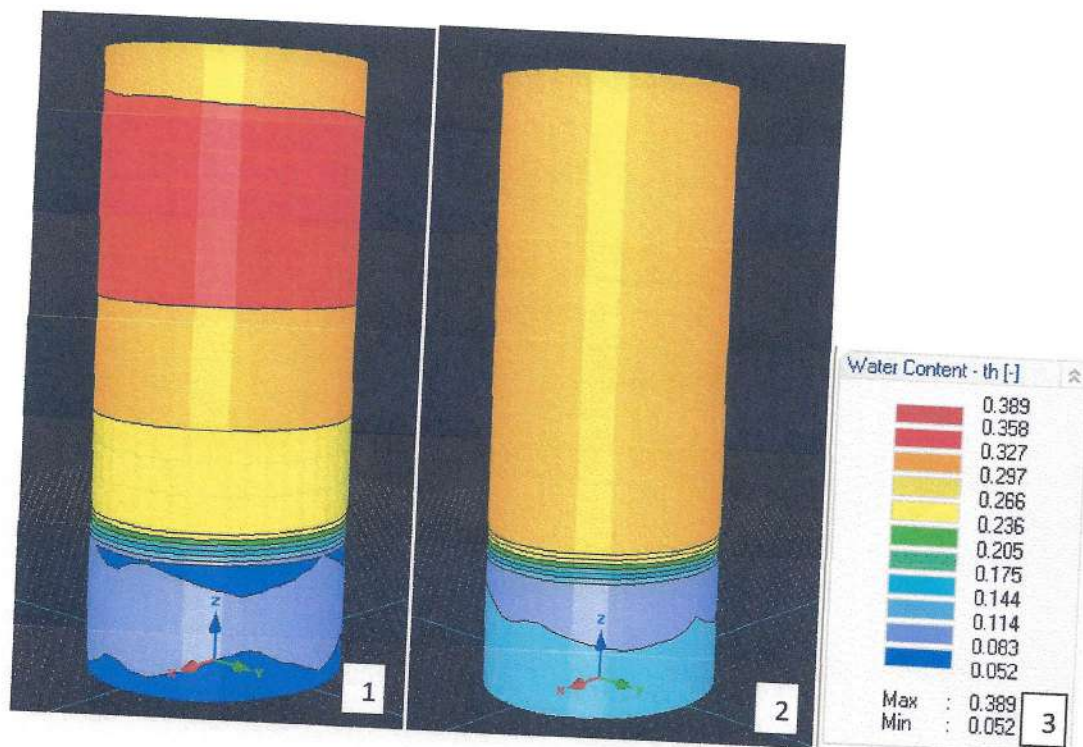
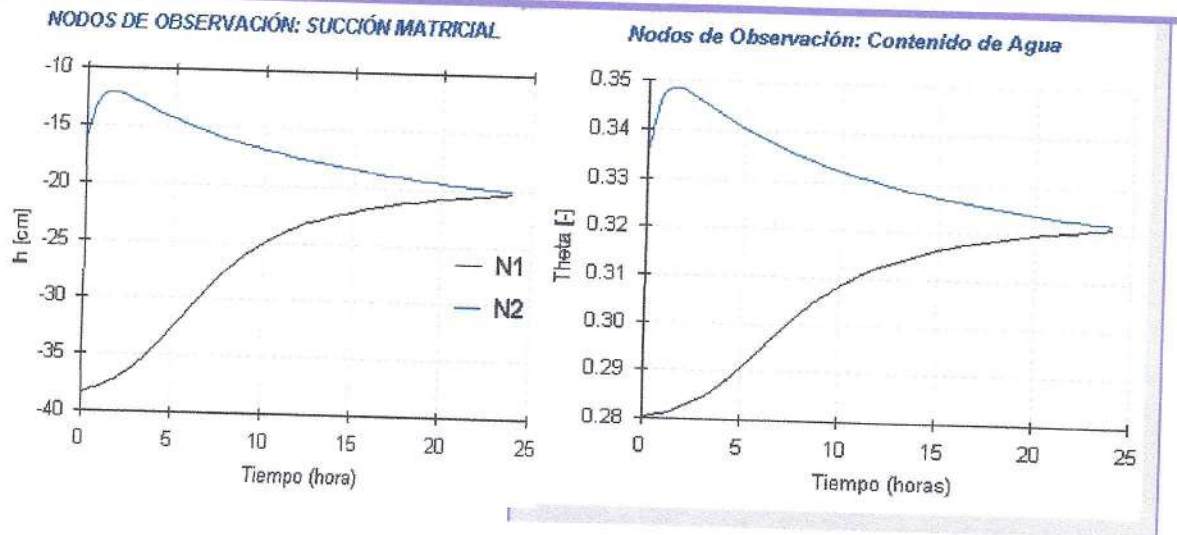


Figura 1. Movimiento del contenido de agua (\square m³/m³) para un período transcurrido de 10:50 horas, (t = 8:13 p.m. 14/10/09). Figura 2. Movimiento del contenido de agua (\square m³/m³) para un período transcurrido de 20 horas, (t = 5:23 a.m. 15/10/09). Figura 3. Escala del contenido de agua en el suelo en unidades de m³/m³. Las figuras 1 y 2. muestran el flujo de agua en el suelo dentro del cilindro. Esta simulación fue planteada tratando de cumplir las condiciones reales de la prueba de respiración del suelo, es decir, hecho a escala y con los tipos de materiales en cuanto a la textura del suelo (Arcilla arenosa y arena en la parte inferior del cilindro).



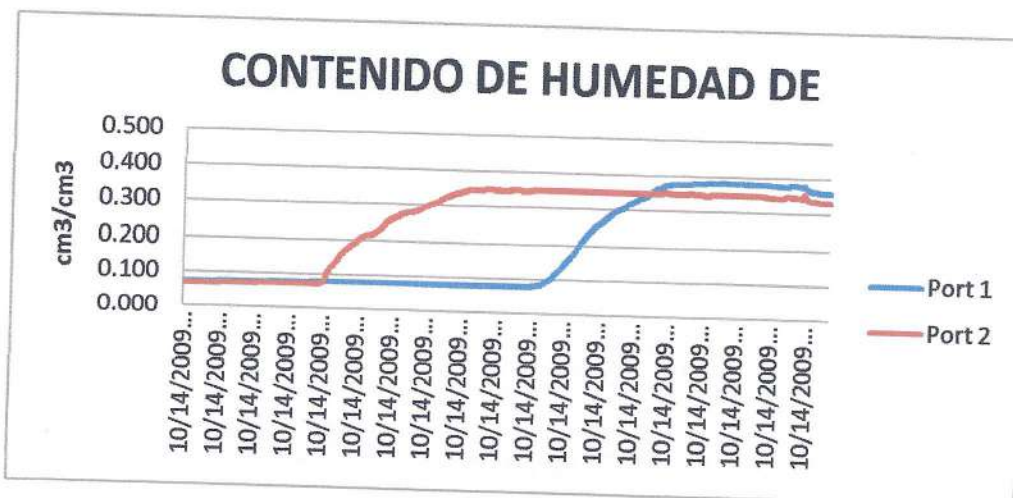
Gráfica 6. Nodos de Observación



Los nodos de observación fueron establecidos como los puntos donde se ubicaban los sensores de humedad (Port 1 y Port 2),

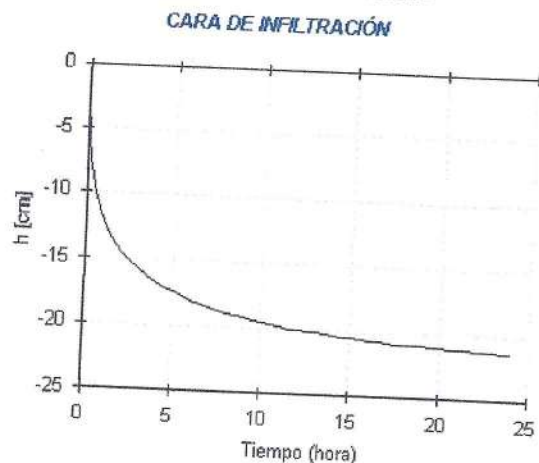
Donde el nodo 1 a 34.11 cm desde la base del cilindro hacia arriba, viene siendo el Port 1 del sensor de humedad y el nodo 2 a 56.84 cm desde la base del cilindro, representa el Port 2 del sensor de humedad.

Gráfica 7. Contenido de Humedad de Suelo



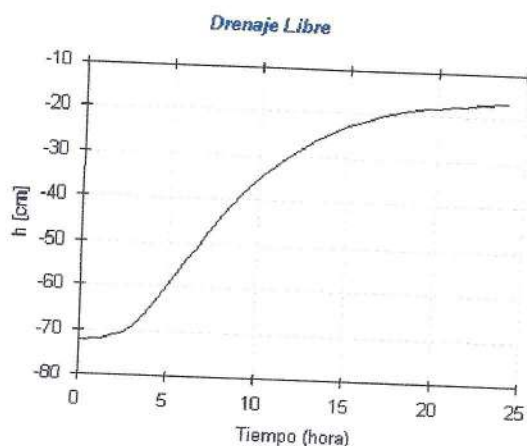
La presente gráfica muestra el contenido de agua medido en los sensores de humedad, instalados dentro del cilindro.

Grafica 8. Cara de Infiltración



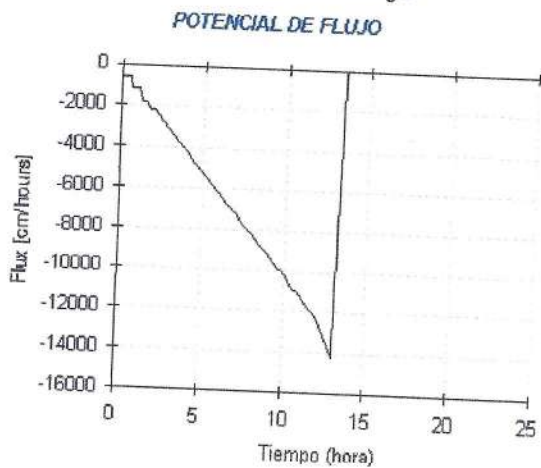
En cuanto a las condiciones de Límite, la cara de infiltración nos muestra el comportamiento de la Succión Matricial que aumenta (en esta condición el signo negativo es tomado como un valor absoluto) a medida que aumenta el tiempo, este comportamiento puede estar dado por la acumulación de agua al final del cilindro, donde se puede estar necesitando mayor cantidad de fuerza de succión para desligar el agua de los poros del suelo (Presión Capilar)

Grafica 9. Drenaje Libre



En relación a las Condiciones de Drenaje libre, la succión Matricial tiende a cero, debido a los estados de saturación del suelo, ya que a medida que el suelo se satura, la succión matricial decrece.

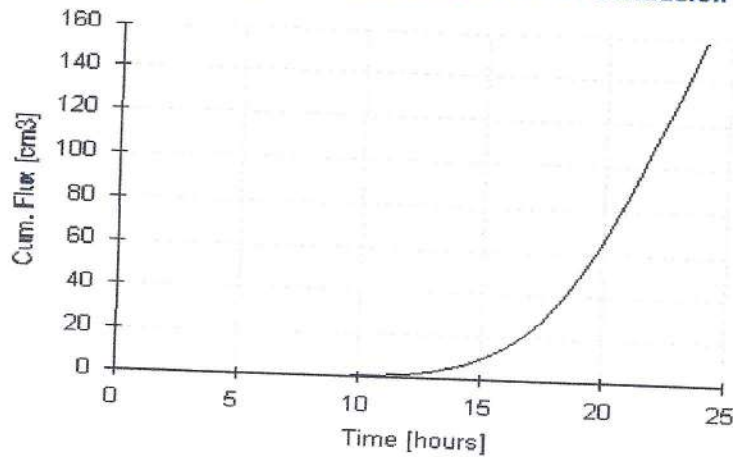
Grafica 10. Potencial de Flujo



El potencial de Flujo nos muestra el contenido de agua agregada en cm^3 , los cuales fueron $14200 \text{ ml} = 14200 \text{ cm}^3$, distribuidos en 12 horas de realización de prueba y la tendencia a cero, nos indica en el momento donde se dejó de agregar agua al cilindro.

Gráfica 11. Acumulación de flujo en drenaje libre/Cara infiltración

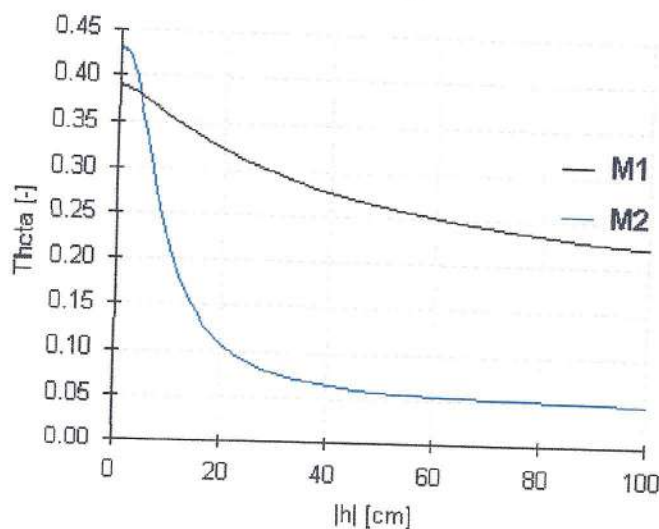
Acumulación de flujo en Drenaje libre/Cara de Infiltración



El Flujo acumulado en la zona de drenaje Libre, que es la parte inferior del cilindro aumenta a partir de las 10 horas de prueba, demostrando la acumulación del agua infiltrada durante este periodo.

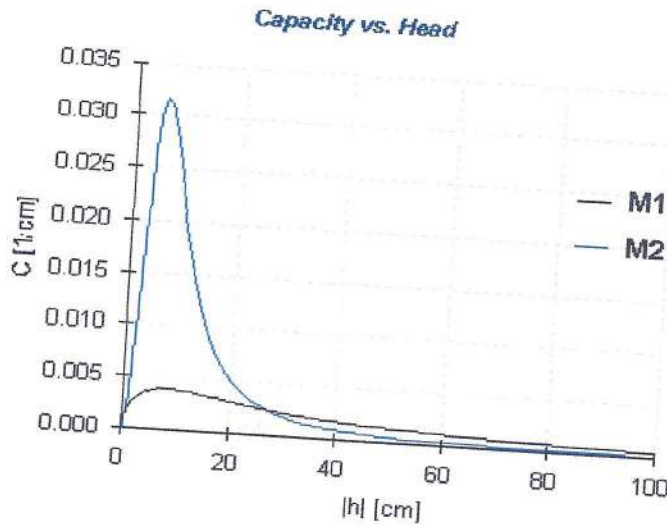
Gráfica 12 Theta vs Head

Theta vs. Head



El contenido de agua en el cilindro decrece para ambos materiales de suelo a medida que aumenta la elevación del cilindro, siendo M1 la tierra acrillosa-arenosa (a 56 cm desde la parte superior del cilindro) y M2 la arena (desde la base del cilindro hasta 16 cm de elevación).

Gráfica 13 Capacity vs Head



La Gráfica de Capacidad de Calor vs la Elevación demuestra que la Arena (M2), presenta mayor contenido de calor o almacenamiento de calor que la tierra arcillosa (M1).

Como parte final de la simulación los resultados para las 10 horas se muestran a continuación:

Time [T]	10.0000		
Sub-region num.			
	M1	M2	
Volume [L3]	0.50721E+05	0.38823E+05	0.11898E+05
VolumeW [L3]	0.13219E+05	0.12073E+05	0.11464E+04
InFlow [L3/T]	0.60019E+02	0.23773E+02	0.36246E+02
WatBalT [L3]	-0.22644E+01		
WatBalR [%]	0.170		

Donde el Volumen se muestra en (cm³) y el contenido de agua para el M2 a las 10 horas de Prueba es de 1146 cm³.



Anexo



Figura 1. Suelo tamizado utilizado para la realización de la prueba.



Figura 2. Equipo utilizado para reunir las muestras de suelo.



Figura 3. Medición de porcentaje de Humedad de suelo y flujo de Carbono de Suelo.



Figura 4. Agregado de 600 ml de agua de río al cilindro con el suelo tamizado



Figura 5. Niveles de agua dentro del cilindro de prueba.



Figura 6. Suelo saturado con 600ml de agua