



Artículo: COMEII-16019

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

### MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN EL PERFIL DEL SUELO EN EL DR 075 RÍO EL FUERTE, SINALOA

José Alfredo Díaz Magaña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México. jamagana@tlaloc.imta.mx.

#### Resumen

Se realizó un estudio básico de suelos con fines de riego y drenaje en cinco sitios de la zona agrícola del módulo de riego VII-1 Juncos, del Distrito de Riego 075 Río El Fuerte, Sinaloa.

Los resultados muestran suelos poco desarrollados, clases texturales franco en tres sitios, migajón arenoso en dos horizontes, migajón limoso en tres horizontes, migajón arcilloso en dos horizontes, arcilla en siete horizontes, arcillo arenosa en uno y arcillo limoso en dos, así como valores de conductividad hidráulica de 0.008 a 2.502 cm/hr con promedio de 0.440 cm/hr.

La densidad aparente observada es de 1.154 a 1.215 gr/cm<sup>3</sup>, con promedio de 1.192 gr/cm<sup>3</sup> y el peso específico de 2.604 a 2.648 gr/cm<sup>3</sup>, con promedio de 2.629 gr/cm<sup>3</sup>.

El pH varió de 6.4 a 8.0 con un promedio de 7.4, sobresaliendo el horizonte de profundidad 135/145-200 en el sitio 2, con pH de 8, valor que denota alcalinidad y que puede ser debido a la presencia de carbonatos de calcio, ya que en la descripción del perfil del suelo fue el más efervescente en la prueba del HCl. Asimismo, la conductividad eléctrica obtenida fue de valores menores de 4, lo cual permite señalar que no existen problemas de salinidad.

**Palabras clave adicionales:** Conductividad hidráulica, perfil del suelo, distribución de tamaño de partículas, densidad aparente, peso específico.



## Introducción

Los estudios básicos de suelo con fines de riego y drenaje requieren una caracterización mínima que incluye la conductividad hidráulica, salinidad, pH, textura, densidad aparente y peso específico, entre otros más.

En este trabajo se presentan los resultados en campo, donde en el perfil del suelo se realizaron pruebas de infiltración por horizonte utilizando el método del minifiltrómetro para obtener la conductividad hidráulica y se obtuvieron muestras de suelo para determinar la distribución del tamaño de las partículas de acuerdo con el método estándar para el análisis del tamaño de las partículas de la ASTM, la densidad aparente por el procedimiento AS-03 de la NOM-021-RECNAT-200 y el peso específico con el método estándar de peso específico de la ASTM en la zona agrícola de riego del módulo de riego VII-1 Juncos, del Distrito de Riego 075 Río El Fuerte, Sinaloa

## Materiales y métodos

### Descripción del perfil del suelo con fines de drenaje agrícola

En este trabajo se empleó la Guía de Análisis de Horizontes de Suelos en Fosas Edafológicas con Fines de Drenaje Agrícola elaborada por Díaz, 1999.

En dicha Guía se incluye los criterios para abrir las fosas de estudio, como por ejemplo las dimensiones promedio (2.0 m de largo por 1.5 m de ancho con una profundidad promedio de 1.5 m), estimación visual de la disposición de los horizontes en el perfil del suelo.

### Medición de la Conductividad Hidráulica

La estimación de la conductividad hidráulica a saturación para horizontes de suelo se puede realizar mediante pruebas de infiltración utilizando métodos como el miniinfiltrómetro (Díaz y Namuche, 2001) con el cual se mide la evolución de la lámina infiltrada en el tiempo.

Los datos de lámina infiltrada en el tiempo se ajustan con una ecuación basada en la ley de Darcy, donde la evolución temporal de la lámina es descrita por el modelo de Green y Ampt (1911).

$$\frac{dI}{dt} = K_s \left[ 1 + \frac{|\psi_f| \Delta\theta + h(t)\Delta\theta}{I(t)} \right] \quad (1)$$

Donde  $K_s$  es la conductividad hidráulica a saturación (LT-1),  $\Delta\theta = \theta_s - \theta_0$  es el cambio de almacenamiento (L3L-3),  $\theta_s$  es el contenido volumétrico de agua a

saturación (L3L-3),  $\Theta_0$  es el contenido volumétrico de agua inicial, (L3L-3),  $\Psi_f < 0$  es la presión del agua en el frente efectivo de humedecimiento (L),  $h(t)$  es el tirante de agua sobre la superficie del suelo (L).

## Análisis y discusión de resultados

### Perfil del suelo

Se seleccionaron cinco sitios en las secciones de riego 81, 82 y 83 del módulo de riego VII-1 Juncos del DR075. Figura 1.

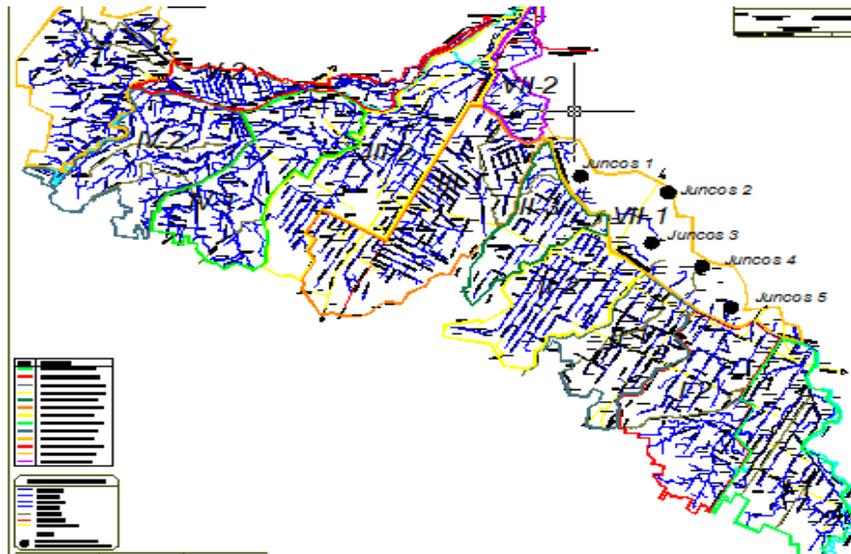


Figura 1. Ubicación de los sitios en estudio.

Los sitios se encuentran en una llanura, con relieve menor de 1%, de forma ligeramente inclinada, con microrelieve en surcos, material parental aluvial con grado de desarrollo pedológico incipiente, el drenaje superficial del sitio tiende a ser donador de aguas y el uso actual del suelo es agrícola. Figura 2.



Figura 2. Perfil del suelo con minifiltrómetro.

En el primer sitio se observan tres horizontes (Apc, B1cv y B2ck), donde el primer horizonte es un Apc con profundidad de 0-40/50 cm, color 7.5YR 6/3 café ligero en seco y 7.5YR 4/3 café en húmedo, con manchas férricas azonales y pequeñas,



textura migajón arenosa, agregados medianos en forma de bloques angulares, duros en seco y firmes en húmedo, muy plásticos y muy adherentes, porosidad de morfología vesicular, cristales de sales, pocos nódulos de arcilla, algunos fragmentos rocosos del tamaño de la gravilla, abundantes raíces, reacción efervescente al  $H_2O_2$  y nula reacción al HCl.

El segundo sitio presenta cuatro horizontes (Apc. A2c Ec y Bc), donde el primer horizonte tiene una profundidad de 0-35/43 cm, color 7.5YR 5/3 café en seco y 7.5YR 4/4 café en húmedo, textura arcilla, agregados medianos en forma de bloques angulares, duros en seco y firmes en húmedo, plásticos y adherentes, porosidad de morfología intersticial, cristales de sales, pocos nódulos pequeños de carbonatos, abundantes raíces, reacción efervescente al  $H_2O_2$  y nula reacción al HCl.

En el tercer sitio se observan cuatro horizontes (Ap. A2c Ec y Bc), siendo el primero un horizonte Ap, el cual tiene una profundidad de 0-25/35 cm, color 7.5YR 5/3 café en seco y 7.5YR 3/2 café oscuro en húmedo, textura migajón arcillosa, agregados en forma granular, suelta en seco y suave en húmedo, plásticos y adherentes, porosidad de morfología intersticial, pocos cristales de sales, frecuentes raíces, reacción efervescente al  $H_2O_2$  y nula reacción al HCl.

El cuarto sitio tiene cuatro horizontes (Apc. A2c AEc y Bc), donde el primer horizonte es un Apc con profundidad de 0-25/35 cm, color 7.5YR 5/3 café en seco y 7.5YR 3/2 café oscuro en húmedo, textura migajón arcillosa, agregados en forma granular, suelta en seco y suave en húmedo, plásticos y adherentes, porosidad de morfología intersticial, pocos cristales de sales, frecuentes raíces, reacción efervescente al  $H_2O_2$  y nula reacción al HCl.

Finalmente, el quinto sitio tiene cinco horizontes (Apc. A2.1c A22c., E2c y E21c), donde el primer horizonte es Apc. Horizonte con profundidad de 0-40/45 cm, color 7.5YR 5/2 café en seco y 7.5YR 4/2 café en húmedo, textura migajón arcillosa, agregados en forma de bloques angulares, duro en seco y firme en húmedo, muy plásticos y muy adherentes, porosidad de morfología intersticial, pocos cristales de sales, nódulos de arcilla y carbonatos, muy pocos fragmentos rocosos, abundantes raíces, reacción efervescente al  $H_2O_2$  y ligeramente efervescente al HCl.

### **Conductividad hidráulica**

En el sitio 1 se observaron tres horizontes, donde los resultados de conductividad hidráulica presentan una variación de 0.24211 a 0.4521 cm/hr, observándose que este valor va incrementándose a mayor profundidad del perfil del suelo. Con respecto al sitio 2, se encontraron cuatro horizontes, cuyos valores de conductividad hidráulica tienen una variabilidad espacial de 0.0338 a 0.7263 cm/hr, observándose que los valores más bajos se encuentran en el horizonte subsuperficial de diagnóstico y en el horizonte más profundo, lo cual puede deberse en el primer caso a la influencia de la compactación conocida como piso

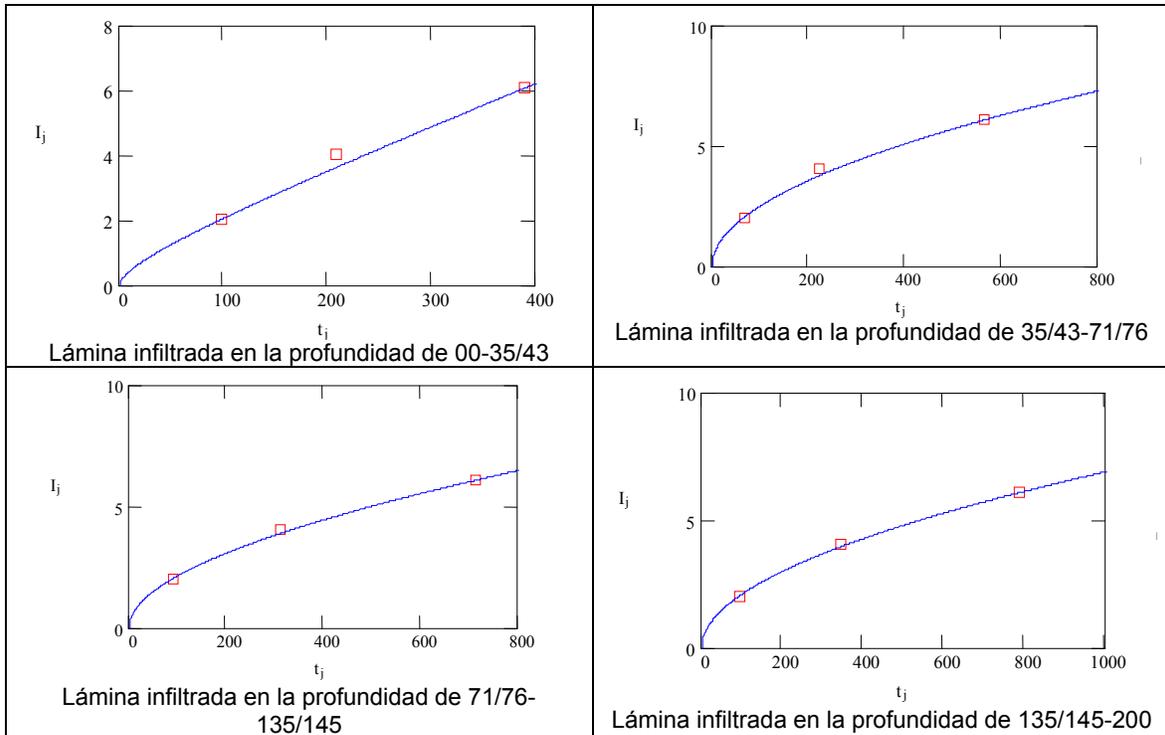
de arado y en el segundo caso podría deberse a la presencia de arcilla iluvial. Para el sitio 3 se encontraron cuatro horizontes, cuyos valores de conductividad hidráulica tienen una variabilidad espacial de 0.0858 a 2.5042 cm/hr, observándose que los valores más bajos se encuentran en el horizonte superficial de diagnóstico y en el horizonte más profundo, lo cual puede, deberse para el segundo caso, al movimiento de arcilla de los horizontes que están por encima de éste, para el sitio 4 se observaron cuatro horizontes, cuyos valores de conductividad hidráulica presentan una variabilidad espacial de 0.0133 a 0.1201 cm/hr, observándose que el valor más bajo se tiene en el tercer horizonte, que podría deberse a una acumulación de arcilla y para el sitio 5 se obtuvieron localizaron cinco horizontes, cuya variabilidad espacial de conductividad hidráulica va de 0.0088 a 0.6421 cm/hr, observándose que el valor más bajo se encuentra en el horizonte subsuperficial y esto puede deberse a los contenidos de arcilla y a la presencia del piso de arado. Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Valores de conductividad hidráulica estimadas con el minifiltrómetro.

Identificación	Profundidad (cm)	Conductividad hidráulica	
		(cm/hr)	(m/día)
Sitio 1	00-40/50	0.2421	0.0581
	40/50-140/155	0.3254	0.0781
	140/155-200	0.4521	0.1085
Sitio 2	00-35/43	0.7263	0.1743
	35/43-71/76	0.0338	0.0081
	71/76-135/145	0.0704	0.0169
	135/145-200	0.0317	0.0076
Sitio 3	00-25/35	0.0858	0.0206
	25/35-60/65	1.6333	0.3920
	60/65-130/135	2.5042	0.6010
	130/135-200	0.3529	0.0847
Sitio 4	00-25/30	0.4754	0.1141
	25/30-60/70	0.0746	0.0179
	60/70-135/145	0.0554	0.0133
	135/145-200	0.5004	0.1201
Sitio 5	00-40/45	0.0408	0.0098
	40/45-80/90	0.0088	0.0021
	80/90-115/120	0.0104	0.0025
	115/120-155/160	0.6421	0.1541
	155/160-200	0.5463	0.1311

#### Prueba de infiltración y lámina acumulada infiltrada

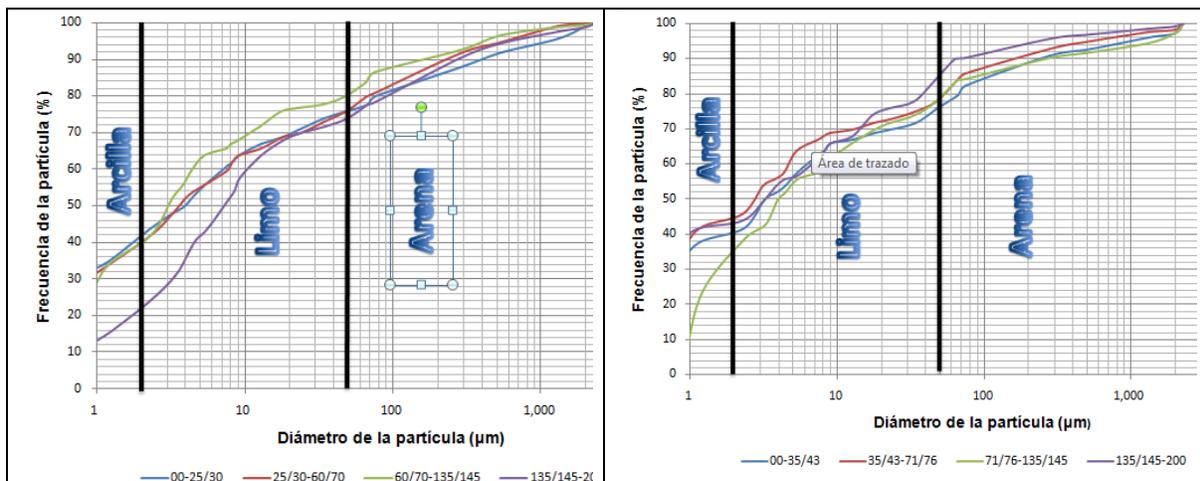
A manera de ejemplo se presenta la evolución de la lámina infiltrada en la prueba de filtración por horizonte en el sitio 2. Figura 3.



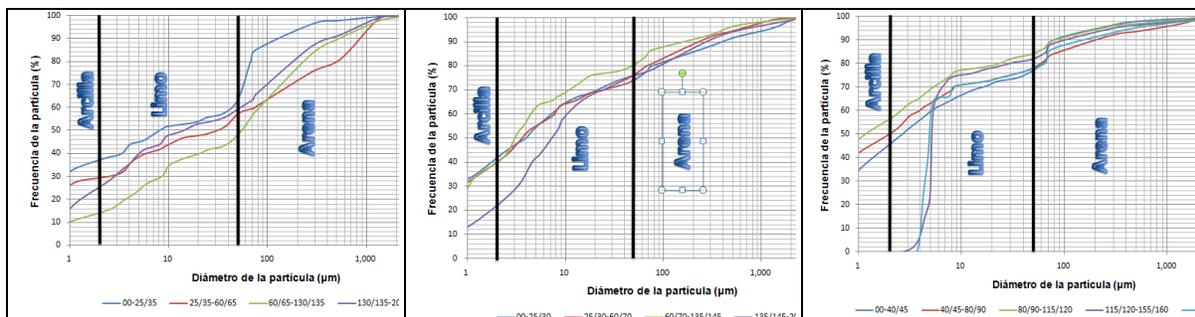
**Figura 3.** Prueba de infiltración y lámina acumulada infiltrada.

### Distribución de las partículas del suelo

Las curvas granulométricas sin ajustar se obtuvieron por horizonte, en las Figuras 4 – 5, se observa la variabilidad espacial datos de distribución del tamaño de las partículas para cada sitio y en el Cuadro 2, se presenta a manera de ejemplo los datos obtenidos para el sitio uno.



**Figura 4.** Curvas granulométricas sin ajustar para el sitio 1 y sitio 2.



**Figura 5.** Curvas granulométricas sin ajustar para el sitio 3, sitio 4 y sitio 5.

**Cuadro 2.** Clase textural de suelos para los sitios en estudio.

00-25/35		25/35-60/65		60/65-130/135		130/135-200	
Diámetro	Porcentaje	Diámetro	Porcentaje	Diámetro	Porcentaje	Diámetro	Porcentaje
0.85	29.73	0.87	23.73	0.90	9.74	0.89	13.74
1.19	33.73	1.21	27.73	1.27	11.74	1.24	19.74
2.36	38.00	2.41	29.73	2.51	15.74	2.43	27.73
3.31	39.72	3.39	31.73	3.52	19.74	3.38	32.73
4.00	43.72	4.09	35.73	4.28	21.73	4.09	35.73
4.60	44.72	4.71	37.73	4.90	23.73	4.69	38.72
5.61	45.72	5.73	39.72	5.96	26.73	5.70	41.72
7.84	49.72	8.07	41.72	8.34	29.73	8.00	43.72
8.56	50.72	8.80	42.72	9.11	31.73	8.70	45.72
9.53	51.72	9.80	43.72	10.07	34.73	9.69	47.72
13.45	52.72	13.72	46.72	14.13	37.73	13.59	49.72
18.98	53.72	19.37	47.72	19.83	39.72	19.02	52.72
24.29	55.71	24.91	48.72	25.51	41.72	24.50	53.72
36.17	57.71	36.95	51.72	38.01	43.72	36.48	55.71
50.44	63.71	51.34	57.71	53.53	49.72	51.12	59.71
66.69	79.70	72.29	59.71	72.61	57.71	71.34	63.71
75.00	85.00	75.00	60.20	75.00	58.40	75.00	65.60
280.00	96.45	280.00	75.40	280.00	83.40	280.00	86.60
540.00	97.90	540.00	81.20	540.00	90.40	540.00	91.80
1300.00	99.80	1300.00	98.40	1300.00	97.80	1300.00	99.00
2000.00	99.90	2000.00	99.80	2000.00	99.40	2000.00	100.00
2300.00	100.00	2300.00	100.00	2300.00	100.00	2300.00	100.00

Con los resultados del análisis de la distribución de partículas se observa la existencia de tres horizontes con textura Franca, dos horizontes con textura migajón arenosa, tres horizontes con textura migajón limosa, dos horizontes con textura migajón arcilloso, siete con textura arcilla, uno con textura arcillo arenosa y dos arcillo limoso. **Cuadro 3.**

**Cuadro 3.** Clase textural de suelos para los sitios en estudio.

Identificación	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase textural
Sitio 1	00-40/50	29	35	36	Ca
	40/50-140/155	24	46	30	C
	140/155-200	22	40	38	C
Sitio 2	00-35/43	41	35	24	R
	35/43-71/76	45	33	22	R
	71/76-135/145	35	43	22	Cr
	135/145-200	44	41	15	RI
Sitio 3	00-25/35	37	26	37	Cr
	25/35-60/65	29	27	44	Ra
	60/65-130/135	14	34	52	Ca
	130/135-200	25	33	42	C
Sitio 4	00-25/30	42	34	24	R
	25/30-60/70	40	35	25	R
	60/70-135/145	40	40	20	RI
	135/145-200	22	52	26	CI
Sitio 5	00-40/45	46	31	23	R
	40/45-80/90	50	28	22	R
	80/90-115/120	57	27	16	R
	115/120-155/160	0	82	18	CI
	155/160-200	0	78	22	CI

#### Densidad aparente y peso específico

Los resultados muestran la existencia horizontes con densidades aparentes del orden de 1.154 a 1.215 gr/cm<sup>3</sup>, con promedio de 1.192 gr/cm<sup>3</sup>. Asimismo, se observó que los valores del peso específico variaron de 2.604 a 2.648 gr/cm<sup>3</sup>, observándose un promedio de 2.629 gr/cm<sup>3</sup>. **Cuadro 4.**

#### Conductividad eléctrica y pH

La medición de la conductividad eléctrica y del pH se realizó en el extracto de saturación del suelo con los equipos conductímetro modelo 441 de la marca Corning y equipo pH/°C/EC/TDS Meter modelo H19811-5 Marca Hanna. Ilustración 20.

Los resultados de pH muestran valores de 6.4 a 8.0 con un promedio de 7.4, sobresaliendo en el sitio 2 el horizonte a profundidad 135/145-200 con pH de 8, valor que denota alcalinidad y que puede ser debido a la presencia de carbonatos de calcio (fue el más efervescente en la prueba del HCl). Con respecto a la conductividad eléctrica, los valores fueron menores de 4, lo cual permite señalar que no existen problemas de salinidad. **Cuadro 5.**



**Cuadro 4.** Densidad Aparente y Peso Específico en los sitios de estudio.

Identificación	Profundidad (cm)	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )
Sitio 1	00-40/50	1.309	2.639
	40/50-140/155	1.243	2.644
	140/155-200	1.201	2.611
Sitio 2	00-35/43	1.125	2.645
	35/43-71/76	1.113	2.619
	71/76-135/145	1.232	2.636
	135/145-200	1.151	2.638
Sitio 3	00-25/35	1.278	2.642
	25/35-60/65	1.187	2.635
	60/65-130/135	1.211	2.648
	130/135-200	1.243	2.623
Sitio 4	00-25/30	1.155	2.619
	25/30-60/70	1.138	2.624
	60/70-135/145	1.154	2.604
	135/145-200	1.215	2.648
Sitio 5	00-40/45	1.167	2.618
	40/45-80/90	1.154	2.625
	80/90-115/120	1.116	2.631
	115/120-155/160	1.223	2.621
	155/160-200	1.215	2.623

**Cuadro 5.** Valores de pH y conductividad eléctrica para suelos en el módulo 10.

Identificación	Profundidad (cm)	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)
Sitio 1	00-40/50	6.5	1.618
	40/50-140/155	7.8	2.060
	140/155-200	7.9	3.170
Sitio 2	00-35/43	7.2	1.616
	35/43-71/76	7.6	1.452
	71/76-135/145	7.7	1.623
	135/145-200	8.0	1.485
Sitio 3	00-25/35	6.4	1.305
	25/35-60/65	6.9	1.094
	60/65-130/135	7.8	0.719
	130/135-200	7.7	1.033
Sitio 4	00-25/30	7.6	1.453
	25/30-60/70	7.6	1.658
	60/70-135/145	7.8	2.130
	135/145-200	7.3	2.430
Sitio 5	00-40/45	7.5	1.960
	40/45-80/90	7.6	1.577
	80/90-115/120	7.7	2.370
	115/120-155/160	7.4	5.250
	155/160-200	7.4	5.890



## Conclusiones

Los suelos en el módulo 10 se encuentran dentro de los grupos de suelos poco desarrollados, observándose para el módulo una distribución promedio de arcilla de 32%, limo del 40% y 28 de arena.

Los valores de conductividad hidráulica variaron de 0.0088 a 2.5042 cm/hr con un valor promedio de 0.4406 cm/hr.

Las clases texturales encontradas fueron en tres horizontes con textura Franca, dos horizontes con textura migajón arenosa, tres horizontes con textura migajón limosa, dos horizontes con textura migajón arcilloso, siete horizontes con textura arcilla, uno con textura arcillo arenosa y dos arcillo limoso.

La densidad aparente de los suelos obtenida por horizonte se encuentra en el orden de 1.154 a 1.215 gr/cm<sup>3</sup>, con promedio de 1.192 gr/cm<sup>3</sup>. Asimismo, los valores del peso específico variaron de 2.604 a 2.648 gr/cm<sup>3</sup>, con promedio de 2.629 gr/cm<sup>3</sup>.

El pH en las muestras de suelo presentó valores de 6.4 a 8.0 con un promedio de 7.4, sobresaliendo el horizonte de profundidad 135/145-200 en el sitio 2, que presentó pH de 8, valor que denota alcalinidad y que puede ser debido a la presencia de carbonatos de calcio, ya que en la descripción del perfil del suelo fue el más efervescente en la prueba del HCl. Asimismo, la conductividad eléctrica obtenida fue de valores menores de 4, lo cual permite señalar que no existen problemas de salinidad.

## Referencias Bibliográficas

- CNA, 1990. Características de los distritos de riego. Año agrícola 1990. Gerencia de Distritos de Riego, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. CNA. México, D.F.
- Díaz, M., J. A. 1999. Guía de análisis de horizontes de suelos en fosas edafológicas con fines de drenaje agrícola (Manual de campo). Documento de uso interno. Subcoordinación de Contaminación y Drenaje Agrícola. Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje. IMTA. Jiutepec, Morelos.
- Díaz M., J. A., Namuche V., R. 2001. Medición de la conductividad hidráulica con el minifiltrómetro en horizontes del suelo del DR014Río Colorado, B. C. XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 2. Drenaje y Salinidad, pág. 21-28.