

DETERMINACION DE PARAMETROS HIDROFISICOS DE LOS SUELOS EN FUNCION DE PROYECTOS DE SANEAMIENTO POR DRENAJE

Storti, M.¹, J. Galeazzi², C. Aruani³

¹. A.I.C., 9 de Julio 496, (8324) Cipolletti (R.N.); mstorti@aic.gov.ar

². F.C.A.- U.N.Comahue, C.C. N° 85, (8303) Cinco Saltos (R.N.); jogaleaz@neunet.com.ar

³. F.C.A.- U.N.Comahue, C.C. N° 85, (8303) Cinco Saltos (R.N.); mcaruani@jetband.com.ar

RESUMEN

El conocimiento de los parámetros hidrofísicos del suelo es fundamental para la solución de los problemas referidos al drenaje de los terrenos, principalmente para el cálculo y diseño de obras de saneamiento y recuperación agrícola. El presente trabajo se llevó a cabo en un área del Alto Valle de Río Negro (270 Has), ubicada en la margen izquierda del río Neuquén, zona de producción frutícola intensiva bajo riego.

Se realizaron análisis físicos y físicos-químicos de muestras de suelo a fin de determinar textura, salinidad (C.E.) y retención hídrica a 30 – 1500 kPa (C.C. y P.M.P.). Además, se efectuaron ensayos de campo para obtener velocidad de infiltración básica (Ib) como un estimador confiable de la conductividad hidráulica saturada (Ks).. Estos suelos son de texturas medias a medias finas, con una amplia variabilidad de Ib (180 - 3 mm/h). La capacidad de almacenamiento de agua útil presenta valores entre 1,3 y 14,7 en porcentaje de contenido de humedad. En su mayoría, los suelos resultan alcalinos a fuertemente alcalinos (pH: 6,8 a 9,0) y ligeramente salinos y/o salinos (C.E: 0,5 a 11,0 dS/m).

Se contrastaron valores medidos de Ib, C.C. y P.M.P. con los valores estimados por el *Modelo Estadístico Predictivo* (Saxton, E., 2005), una herramienta útil para simplificar y reducir los procedimientos usuales de obtención de los parámetros hidrofísicos del suelo a través de la textura (% arena y % arcilla). La evaluación de los datos se efectuó ajustando un modelo de regresión lineal.

A los fines del análisis de regresión, se procesaron los datos estimados de Ks siguiendo cinco procedimientos diferentes. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que ninguna de las cinco alternativas propuestas genera un modelo predictivo significativo. Sin embargo, la alternativa que presenta valores de Ks estimados para el horizonte de profundidad 35-60 cm (p-valor 0,093) debería ser estudiada a partir de la incorporación de nueva información (ensayos de campo).

En el caso de los parámetros C.C. y P.M.P., el análisis de regresión se realizó con valores estimados y medidos correspondientes al conjunto de los nueve perfiles estudiados. Se puede concluir que si bien existe una relación significativa en ambos casos (p-valor < 0,000); y a pesar de que los coeficientes de determinación resultan aceptables ($R^2 = 0,528$ y $R^2 = 0,799$ respectivamente), los modelos de predicción obtenidos no resultan efectivos para los fines prácticos del trabajo con un error medio de la predicción del 4,4 % para C.C. y un 3 % para P.M.P.

INTRODUCCION

El Alto Valle de Río Negro representa un área muy extensa que abarca los valles aluviales de los ríos Neuquén inferior y Negro superior, formando una faja angosta, larga y llana de 130 Km de largo y ancho variable entre 2 a 12 Km. Comprende unas 60.000 has de cultivos intensivos bajo riego. Aproximadamente el 70 % de la superficie se encuentra cultivada con frutales de pepita (manzanos y perales), siguiendo en orden de importancia los frutales de carozo y las vides. Predominan ampliamente los métodos de riego por gravedad, siendo el de melgas de inundación (o riego a 'manto') el más común y en menor medida el riego por surcos. La eficiencia global media es del orden del 30 % (CIL, 1988). Esto ocasiona la presencia de niveles freáticos poco profundos asociados a procesos progresivos de salinización de los suelos, abarcando con distintos grados de afectación cerca del 40 % de la superficie regada del Alto Valle (Álvarez et al. 1995).

El reconocimiento de los parámetros hidrofísicos del suelo es fundamental para la solución de esta problemática mediante el diseño de sistemas de drenaje parcelario. Específicamente, la conductividad hidráulica saturada interviene en el cálculo del espaciamiento y dimensionamiento de los drenes.

Dada la relativa complejidad de los ensayos de campo o de laboratorio para obtener valores confiables para el diseño, en este trabajo se pretende demostrar si la aplicación de un modelo estadístico predictivo (Saxton, E., 2005) en el Alto Valle de Río Negro, podría simplificar la utilización de procedimientos usuales para la obtención de parámetros hidrofísicos del suelo.

El área de estudio esta ubicada el tramo inferior del valle del río Neuquén, abarcando un pequeño sector sobre la margen izquierda del mismo (a 20 km del nacimiento del sistema de riego del Alto Valle), en la denominada zona "Puente la S" - Colonia La Lucinda, jurisdicción de Cipolletti. Comprende una superficie aproximada de 270 ha, que corresponden a 47 establecimientos con producción frutícola bajo riego. Los suelos son de origen aluvial, conformando perfiles muy heterogéneos lo que lleva a suponer comportamientos hídricos diferentes frente a los aportes del agua de riego (Irisarri, et al. 1995).

MATERIALES Y METODOS

Para lograr cumplir con los objetivos del presente trabajo fueron seleccionadas 9 chacras, implantadas en su mayoría con manzanos y perales, a fin de relevar otros tantos perfiles de suelo, con profundidad variable según presencia de fragmentos gruesos o napa freática. Se efectuó la descripción de las características morfológicas más importantes tales como estructura, consistencia, moteados, presencia de carbonatos (rasgos externos), y el correspondiente muestreo de los horizontes reconocidos para analizar propiedades físicas y las físico-químicas (rasgos internos).

Se realizaron las siguientes determinaciones analíticas:

- Determinaciones físicas: Contenido de humedad superficial (Método gravimétrico)
- Análisis granulométrico (Bouyoucos, 1927)
- Retención hídrica a -30 y -1500 kPa (Richards, 1956).
- Determinaciones físico-químicas: pH en pasta (Bates, 1954)
- Conductividad Eléctrica (CE) (U.S.S.L., Staff, 1954).

En torno a cada calicata se realizaron los ensayos de infiltración (tres repeticiones) según la reconocida metodología del Infiltrómetro de doble anillo (USDA, ARS 41-7,1956).

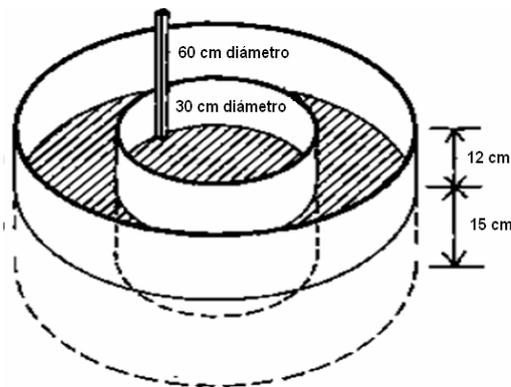


Figura 1. Infiltrómetro de doble anillo

La duración de los ensayos fue variable (6-9 hs), estando condicionada al tipo y características del suelo, y con la premisa de reconocer la fase del proceso en que la velocidad de infiltración prácticamente no varía. La infiltración básica es comúnmente definida como, la velocidad de infiltración del agua en un suelo, en el momento en que la variación de la misma con respecto al tiempo es muy lenta. Se ha tomado el valor de la

infiltración básica en el punto de la curva donde la pendiente es $-0,01$, y que corresponde a un ángulo de $179^\circ 25'$. Este valor corresponde a un punto donde la curva se hace prácticamente asintótica y por lo tanto se acerca más al concepto de velocidad casi constante (Fernández et al, 1971).

En el proceso de infiltración, a medida que el suelo se va saturando, el coeficiente de conductividad hidráulica de la ley de Darcy (K_c en suelo no saturado) va aumentando hasta llegar a un valor máximo y constante para el suelo saturado (K_s). Exactamente en forma inversa se comporta la velocidad de infiltración, que tiene altos valores en suelos secos y disminuye hasta hacerse constante en suelos saturados; justamente en esa situación, de suelo saturado, es que ambos parámetros toman igual valor numérico: $I_b = K_s$ (Fernández, P. et al. 1971).

Tomando como base la ecuación empírica de Kostiakov: $I_{ac} = K T^n$, los parámetros “K” y “n” deben ser determinados para cada caso en base al análisis de los datos experimentales - lámina infiltrada y tiempo de ocurrencia - y mediante un ajuste por regresión se obtienen dichos parámetros para cada uno de los ensayos realizados. Siguiendo el procedimiento de Fernández, P. (1971), se determina la infiltración básica mediante la ecuación:

$$I_b = 60 n K [D/60 n (n-1) K]$$

donde I_b es la infiltración básica en cm/h; la pendiente de la curva de infiltración es $D = -0,01$; y K, n son los parámetros de Kostiakov.

La estimación de las constantes hidrofísicas del suelo: conductividad hidráulica saturada (K_s), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP); se efectuó mediante la aplicación del Modelo Estadístico Predictivo (Saxton, E. 2005). Utilizando los datos de textura (% arcilla y % arena) de los perfiles estudiados, se logró calibrar ajustando

las variables adicionales - materia orgánica, compactación y salinidad, según el siguiente criterio:

- Materia orgánica (MO): Para los horizontes superficiales (0-20 cm) se consideraron dos situaciones:
 - a) Suelo con cobertura en el interfilas: $\% \text{ arcilla} \times 0,1$
 - b) Suelo desnudo: $\% \text{ arcilla} \times 0,1 / 2$

En el caso de los horizontes de profundidad 20-50 cm y 50-100 cm se estableció 0,5 % y 0,1 % de materia orgánica respectivamente.

- Compactación: Se estableció un coeficiente que para el caso de horizontes a 30-40 cm de profundidad es de 1,1 (denso); y para las restantes profundidades es de 1,0 (normal).
- Salinidad (CE): Se ingresaron los datos de C.E (dS/m) obtenidos en laboratorio.
- Grava: Se tomó como valor 0 (% vol) debido a que la profundidad estudiada en todos los casos fue por encima del horizonte de grava.

Los valores obtenidos en laboratorio (CC y PMP) y a campo (Ib), y las estimaciones que proporcionó el Modelo Estadístico Predictivo (Ks, CC y PMP), fueron procesados y evaluados estadísticamente mediante los respectivos análisis de varianza y de regresión.

A la variable Ib se le realizó un análisis de varianza para estudiar la variabilidad entre los valores obtenidos en los diferentes perfiles de suelo; se utilizaron las pruebas de Levene y de Shapiro-Wilk a fin de verificar los supuestos de homocedasticidad y de normalidad, respectivamente. En todos los casos se estableció un nivel de rechazo de $P < 0,05$.

Así mismo, se estudió la relación entre los valores medidos con los valores estimados por el modelo utilizando el análisis de regresión lineal simple. En el caso de la conductividad hidráulica saturada (Ks), los datos estimados se procesaron siguiendo cinco procedimientos diferentes:

- I) Ks promedio de los valores estimados para cada horizonte del perfil.
- II) Ks obtenida del promedio de los porcentajes de arcilla y arena del perfil.
- III) Ks proporcionado por el modelo para el horizonte superficial (0-20 cm).
- IV) Ks proporcionado por el modelo para el horizonte subsuperficial (20-35 cm).
- V) Ks proporcionado por el modelo para el horizonte de profundidad 35-60 cm.

Cada una de estas alternativas se contrastó con la "Ib medida", la cual se obtuvo del promedio de tres ensayos de infiltración realizados en cada parcela.

En el caso de los parámetros CC y PMP, el análisis de regresión se realizó con valores estimados y medidos correspondientes al conjunto de los nueve perfiles estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSION

La información obtenida muestra que los suelos de la zona estudiada presentan diferentes clases texturales: medias (franca, franca limosa, franca arenosa y franca arcillo arenosa) con predominio de textura medias finas (franca arcillo limosa, franca arcillosa y arcillosa). La capacidad de almacenamiento de agua útil en las texturas medias presenta un valor medio del 8,9 % (expresada en base a peso de suelo seco), con un rango que va del 2,5% al 14,7 %, y las texturas finas presentan un promedio del 7,7 % de agua con un rango del 4% al 14 %.

En cuanto al Ph en pasta se observa un rango comprendido entre 6,8 y 8,97 (neutro a fuertemente alcalino) siendo la mayoría de las muestras alcalinas a fuertemente alcalinas. La conductividad eléctrica (CE en Ds/m) presentó un rango comprendido entre 0,5 y 11,07, siendo las calicatas 2 y 9 consideradas no salinas (< 2 Ds/m), las calicatas 1, 3 y 5 ligeramente salinas (2-4 Ds/m), las calicatas 4, 7 y 8 suelo salino (4-8 Ds/m) y la calicata 9 fuertemente salina (8-16 Ds/m) (Soil Taxonomy, 1998).

La Tabla 1 muestra un resumen de las propiedades físicas y físico-químicas de los suelos del área en estudio:

Tabla 1: Propiedades físicas y físico-químicas de los suelos

Parcela	Propiedades Físicas								Propiedades Físico-qcas.	
	Prof. (cm)	Arcilla % < 2 μ	Limo % 2-50 μ	Arena % 50-2000 μ	Clase Textural	% Agua - 30 KPa	% Agua - 1500 KPa	% Agua Agua Util	pH pasta	C.E (dS/m)
Taconi (Cal.1)	0-20	32	22	46	faA	28,60	20,30	8,30	7,00	1,50
	20-40	26	28	46	f	24,70	13,70	11,00	7,60	2,10
	40-65	22	22	56	faA	25,30	12,00	13,30	7,70	1,10
	65-100	22	14	64	faA	26,70	12,00	14,70	7,40	0,60
Gualtieri (Cal.2)	0-25	32	28	40	fa	21,40	18,30	3,10	7,70	1,20
	25-50	22	24	54	faA	23,10	13,10	10,00	7,60	0,90
	50-70	20	20	60	fA	22,60	11,00	11,60	8,10	0,80
	70-95	20	24	66	fA	22,20	11,20	11,00	7,80	0,80
Celeste (Cal.3)	0-15	46	20	34	a	35,50	27,50	8,00	6,80	0,50
	15-35	40	20	40	fa	27,30	21,30	6,00	8,30	0,90
	35-55	32	20	48	faA	27,60	23,60	4,00	8,40	1,40
	55-80	42	22	36	a	28,60	24,40	4,20	8,10	2,40
Zurita (Cal.4)	0-17	29	47	24	fa	34,80	20,90	13,90	7,47	8,20
	17-35	29	53	17	fal	27,70	14,70	13,00	8,25	7,17
	35-45	32	29	39	fa	25,00	14,40	10,60	8,97	3,43
Perini (Cal.5)	0-18	32	51	17	fal	24,30	17,50	6,80	7,36	2,56
	18-35	34	51	15	fal	23,30	15,90	7,40	8,12	2,21
	35-70	24	51	25	f	21,40	11,80	9,60	8,34	1,89
	70-80	22	41	37	f	18,90	11,80	7,10	8,21	1,54
Somaruga (Cal.6)	0-20	49	44	8	al	37,40	31,38	6,02	7,30	5,83
	20-40	51	39	10	a	38,70	34,51	4,19	7,27	5,04
	40-70	47	45	8	al	39,80	30,92	8,88	8,20	11,07
	70+	39	46	15	fal	36,40	25,90	10,50	8,57	4,53
Castellino (Cal.7)	0-22	29	46	25	fa	22,70	15,90	6,80	7,59	1,61
	22-38	27	51	22	fl	21,00	12,10	8,90	7,91	3,61
	38-65	24	49	27	f	22,70	11,00	11,70	8,08	4,48
	65-103	24	61	15	fl	24,10	11,20	12,90	8,04	8,26
	103-140	27	44	30	f	19,80	10,40	9,40	7,90	5,11
Rossi (Cal.8)	0-22	44	46	10	al	27,40	20,00	7,40	7,55	0,85
	22-38	44	46	10	al	27,10	20,90	6,20	7,94	5,35
	38-55	29	53	17	fal	26,00	14,70	11,30	8,12	8,61
	55-77	32	49	20	fal	24,00	13,50	10,50	8,10	6,51
	77-120	22	56	22	fl	26,40	17,60	8,80	8,00	4,06
Peroni (Cal.9)	0-18	36	51	13	fal	26,10	16,90	9,20	7,77	1,17
	18-32	32	53	15	fal	27,80	15,70	12,10	8,17	1,36
	32-53	24	53	22	fl	24,70	13,60	11,10	8,18	1,22
	53-76	24	29	47	f	17,60	11,50	6,10	8,07	0,98
	76-126+	7	17	76	fa	6,50	4,00	2,50	8,30	0,96

En cuanto a los valores obtenidos de los ensayos de Infiltración, consignados en la Tabla 2, se puede ver que en el 90% de los casos la Ib se encuentra dentro del rango esperado de 1 a 100 mm/h, tal como lo indica el estudio de AyEE.,1991.

Además se observa que:

- Tanto en la calicata 5 como en la 6 uno de los tres valores de Ib es considerablemente menor respecto a los dos restantes; esto pudo deberse a error sistemático en la toma de datos y/o ubicación incorrecta del infiltrómetro.
- En las calicatas 1, 2 y 9 se puede observar que uno de los tres valores de Ib es considerablemente mayor respecto a los dos restantes, la explicación es en el mismo sentido que en el caso anterior. En el caso de la calicata 1 el valor de Ib supera el máximo esperado según el estudio de AyEE ya mencionado.

Tabla 2 : Resultados obtenidos de los Ensayos de Infiltración.

Ensayo de Infiltración básica									
Parcela	Fecha	Ensayo	Tiempo acum. (min)	Lamina acum. (mm)	Parámetros		Ib (mm/h)	% Humedad	Prof. napa freática (m)
					K	n			
Taconi (Cal.1)	25-03-06	1	580	4000	37,33	0,74	180	14,80	2,00
		2	500	3540	43,67	0,72	175		
		3	450	4400	10,02	0,78	269		
Gualtieri (Cal.2)	20-05-06	1	440	1080	16,54	0,67	57	20,80	1,20
		2	410	1050	17,69	0,67	58		
		3	385	1300	18,47	0,72	87		
Celeste (Cal.3)	01-04-06	1	540	135	7,86	0,45	8	17,00	1,80
		2	520	40	4,04	0,35	3		
		3	440	235	68,76	0,21	7		
Zurita (Cal.4)	12-04-06	1	515	700	20,99	0,54	26	15,10	1,36
		2	500	600	14,59	0,58	27		
		3	470	520	22,77	0,49	20		
Perini (Cal.5)	03-06-06	1	445	450	13,94	0,55	21	17,30	1,40
		2	425	1700	31,62	0,66	85		
		3	380	1500	45,62	0,60	68		
Somaruga (Cal.6)	13-05-06	1	490	650	26,31	0,51	25	24,10	1,23
		2	475	600	30,90	0,47	21		
		3	455	29	3,43	0,34	2,5		
Castellino (Cal.7)	06-04-06	1	555	1000	19,52	0,60	37	15,10	1,20
		2	515	1150	21,94	0,63	50		
		3	470	650	14,16	0,60	31		
Rossi (Cal.8)	01-09-06	1	515	850	14,72	0,63	38	19,70	1,00
		2	490	1150	18,88	0,65	55		
		3	330	850	19,84	0,63	46		
Peroni (Cal.9)	28-04-06	1	500	400	11,87	0,56	20	13,40	0,80
		2	505	1950	28,99	0,68	90		
		3	460	400	21,55	0,44	14		

En la Tabla 3 se muestran los valores locales de todas las variables que requiere el Modelo, tanto las principales (textura y materia orgánica) como las adicionales (salinidad, grava y compactación).

Tabla 4: Valores estimados de Ks, CC y PMP generados por el Modelo.

Parcela	Prof. (cm)	Ks Estimada (mm/h) para cada horizonte	Ks Estimada (mm/h) Propuesta I	Ks Estimada (mm/h) Propuesta II	Ks Estimada (mm/h) Propuesta III	Ks Estimada (mm/h) Propuesta IV	Ks Estimada (mm/h) Propuesta V	CC (% vol)	PMP (% vol)
Taconi (Cal. 1)	0-20	6	7	6	6	2	10	33	21
	20-40	2						27	16
	40-65	10						23	13
	65-100	12						22	13
Guattieri (Cal. 2)	0-25	4	9	7	4	3	14	33	20
	25-50	3						24	14
	50-70	14						21	12
	70-95	16						20	12
Celeste (Cal.3)	0-15	2	2	1	2	0,4	3	40	28
	15-35	0,4						33	24
	35-55	3						31	20
	55-80	1						38	25
Zurita (Cal.4)	0-17	8	4	3	8	0,4	3	35	21
	17-35	0,4						34	19
	35-45	3						32	20
Perini (Cal. 5)	0-18	4	4	2	4	0,3	4	36	20
	18-35	0,3						36	21
	35-70	4						30	15
	70-80	6						27	14
Somaruga (Cal. 6)	0-20	3	2	1	3	0,4	2	42	30
	20-40	0,4						41	31
	40-70	2						42	30
	70+	2						38	24
Castellino (Cal. 7)	0-22	5	3	3	5	1	5	34	18
	22-38	1						32	17
	38-65	5						30	16
	65-103	3						32	17
	103-140	4						31	17
Rossi (Cal. 8)	0-22	7	3	3	7	0,4	3	41	27
	22-38	0,4						40	27
	38-55	3						34	20
	55-77	2						35	21
	77-120	4						30	15
Peroni (Cal. 9)	0-18	8	17	5	8	3	1	39	23
	18-32	3						36	20
	32-53	1						31	15
	53-76	7						26	15
	76-126+	65						11	4

En relación a los análisis estadísticos planteados, corresponde aclarar que tanto para el análisis de la varianza (ANOVA) como el de regresión, se excluyeron de la base de datos los valores obtenidos de una de las tres repeticiones por ensayo de infiltración, correspondientes a las calicatas 1, 2, 5, 6 y 9.

De esta manera, los valores procesados de Ib fueron sometidos a un Análisis de la Varianza que permitió verificar los supuestos de normalidad y de homocedasticidad. Así mismo, el P value resultante indica que hay variabilidad; por lo que se puede inferir que los perfiles de suelo estudiados presentan un cierto grado de heterogeneidad y afecta a la variabilidad obtenida en la infiltración básica "Ib". En la Tabla 5 se muestra el análisis de varianza.

Tabla 5: ANOVA – Infiltración básica Ib (cm/h)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Inter-grupos	45722,364	8	5715,295	132,795	,000
Intra-grupos	559,500	13	43,038		
Total	46281,864	21			

Según lo referido con anterioridad, donde se detallan las cinco alternativas o propuestas de estimación para Ks, en la Tabla 6 figuran las variables utilizadas para el análisis de regresión entre la Ib medida y la Ks estimada.

Tabla 6 : Valores de Ks estimados en las diferentes propuestas.

Parcelas	Ks (mm/h) Medida	Ks (mm/h) Estimada Propuesta I	Ks (mm/h) Estimada Propuesta II	Ks (mm/h) Estimada Propuesta III	Ks (mm/h) Estimada Propuesta IV	Ks (mm/h) Estimada Propuesta V
Tac. Cal. 1	178	7	6	6	2	10
Gual. Cal. 2	58	9	7	4	3	14
Cel. Cal. 3	6	2	1	2	0,4	3
Zur. Cal. 4	24	4	3	8	0,4	3
Perini Cal. 5	77	4	2	4	0,3	4
Som. Cal. 6	23	2	1	3	0,4	2
Cast. Cal. 7	39	3	3	5	1	5
Rossi Cal. 8	46	3	3	7	0,4	3
Peroni Cal. 9	17	17	5	8	3	1

Considerando las cinco propuestas (alternativas) planteadas, según los resultados que figuran en la Tabla 7, ninguna de ellas resulta satisfactoria para predecir la Ib medida sobre la Ks estimada; sin embargo la propuesta V presenta un p-valor (0,093), siendo la que más se acerca a la hipótesis planteada. Se deberían seguir estudiando estas últimas alternativas aumentando el número de observaciones “n” para ratificar el objetivo del presente trabajo. En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7: Análisis de regresión – valores medidos (Ib) vs valores estimados (Ks)

Propuesta	Ecuación	p-valor	R ²
I	$y = 48,323 + 0,649 x$	0,877	0,004
II	$y = 8,543 + 12,617 x$	0,156	0,266
III	$y = 39,485 + 2,396 x$	0,799	0,01
IV	$y = 38,668 + 11,01 x$	0,530	0,059
V	$y = 15,681 + 7,264 x$	0,093	0,350

(y) corresponde a los valores medidos = Ib (x) corresponde a los valores estimados = Ks

Al plantear el modelo de regresión con el que se pretende predecir la CC de los suelos estudiados se obtiene una relación significativa entre los valores medidos y los estimados (p-valor < 0,000) con un porcentaje de variabilidad explicado del 52,8 %. Las estimaciones resultantes proporcionarían un intervalo de confianza con una amplitud (4,4 % error medio de la predicción) que no resulta práctico a los fines del trabajo.

En el caso del PMP, el análisis planteado presenta un p-valor < 0,000, obteniendo un coeficiente de determinación $R^2 = 0,799$, lo cual muestra una buena relación entre el PMP medido y el estimado, con un error medio de la predicción del 3 (%); a pesar de ello el modelo obtenido no resulta efectivo para los fines del trabajo.

En la Tabla 8 se resumen los resultados del análisis de regresión para las constantes hidrofísicas capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Tabla 8 : Análisis de regresión – valores medidos vs. Estimados de CC y PMP.

Parámetro	Ecuación	p -valor	R ²
Capacidad de campo	$y = 4,612 + 0,665 x$	0,000	0,528
Punto de marchitamiento permanente	$y = -2,778 + 1,028 x$	0,000	0,799
(y) corresponde a los valores medidos de cada parámetro		(x) corresponde a los valores estimados de cada parámetro	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a las consideraciones y resultados obtenidos en este trabajo, se pueden formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Los suelos de la zona “Puente la S” se caracterizan por presentar una amplia variabilidad en las propiedades físicas (composición granulométrica, infiltración básica “Ib” y retención hídrica) y en las propiedades fisicoquímicas (pH y salinidad).
- De las diferentes alternativas propuestas para el análisis de la conductividad hidráulica saturada (Ks), las I, III y IV resultaron no válidas (p-valor 0,877, p-valor 0,799 y p-valor 0,530 respectivamente); sin embargo, las propuesta V podría seguir siendo estudiada (p-valor 0,093) mediante la incorporación de nueva información (ensayos de campo).
- Los modelos de predicción obtenidos para la determinación de los parámetros hidrofísicos (CC y PMP) no resultaron efectivos a los fines prácticos del trabajo debido a los bajos ajustes obtenidos.
- En síntesis, no se confirma la hipótesis planteada inicialmente. Los modelos de predicción no han resultado suficientemente aceptables para estimar los parámetros hidrofísicos del suelo (infiltración básica, capacidad de campo y punto de marchitez permanente) en el área de estudio.

Se recomienda seguir estudiando los modelos de predicción estadísticos de los parámetros analizados, incorporando mayor información mediante nuevos ensayos de campo y determinaciones analíticas, con el fin de lograr un mejor ajuste de los modelos.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, A., O. GALEAZZI; S. STANGAFERRO; J. BARTUSCH; G. POLLA** (1995). *Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro*. Informe técnico, Convenio FCA – DPA.
- BATES, R.G.** (1954) *Electrometric pH determinations*, John Wiley and Sons, Inc. New Cork.
- BOUYOUCUS, G.W.** (1927) *The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil*. Soil Sci. 23:343-353.
- CIL – AYEE** (1988) *Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro*. Informe técnico.
- CIL** (1991) Inconas Latinoconsult. Estudio Integral del Río Negro II Etapa. Edafología. Agua y Energía Eléctrica.
- FERNADEZ, P.C.; J. A. LUQUE; J. D. PAOLINI** (1971) *Análisis de la infiltración y su aplicación para diseños de riego en el Valle Inferior del Río Colorado*. En: Revista de Investigaciones Agropecuarias. INTA, Bs. As. Argentina. Serie 3, Clima y Suelo. Vol. VIII. N° 1. pp. 29.

- IRISARRI, J.; J. MENDIA** (1995) *Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal*. En : Curso internacional Suelo, Riego y Nutrición. Estación Experimental. Alto Valle. pp. 4-1 a 4-40.
- RICHARDS, L.A.** (1956) *Sample retainers for measuring water retention by soil*. Soil Sci. Am. Proc. 20:301-303
- SAXTON, E.** (1995) Modelo Estadístico “Características del Agua del Suelo” Department of Biological Systems Engineering/ Washington State University.
- SOIL TAXONOMY** (1998) Key to Soil Taxonomy, USDA, 8 Edition.
- Técnicas de regresión simple** Statistical Procedures Social Sciences (SPSS 14.0, 2005).
- USDA, ARS** 41-7,1956.- En: GRASSI, C. J., 1988.- Fundamentos del Riego. 1ª Edición CIDIAT-Mérida, Venezuela. pp. 407.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF** (1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Dept. Agr. Handbook 60.