



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CURSO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

MATERIAL PRÁCTICO
INGENIERÍA FORESTAL

UNIDAD DIDÁCTICA B
B3: Erosión Hídrica

2018

ÍNDICE

PARTE I: ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA (USLE)	- 1 -
<i>EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS (R)</i>	<i>- 2 -</i>
<i>ERODABILIDAD DEL SUELO (K)</i>	<i>- 5 -</i>
<i>FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)</i>	<i>- 6 -</i>
<i>FACTOR CULTIVO Y MANEJO (C).....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>FACTOR PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS (P)</i>	<i>- 10 -</i>
<i>TOLERANCIA A LA PÉRDIDA DE SUELO (T).....</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Perfil 1: Serie Arroyo Dulce (AD).....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Perfil 2: Serie Ramallo (RR).....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Perfil 3: Serie Saforcada (SS)</i>	<i>- 15 -</i>
PARTE II: DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS: DESAGÜES VEGETADOS Y CANALES DE GUARDA..	- 17 -
<i>Ejercicio 1: Cálculo de Caudal.....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Ejercicio 2: Dimensionamiento de Desagüe Vegetado.....</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Ejercicio 3: Dimensionamiento de Canal de Guarda</i>	<i>- 20 -</i>

PARTE I ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA (USLE)

Para determinar la tasa de erosión hídrica actual presente en un predio en producción puede utilizarse la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica (USLE) establecida por Wischmeier y Smith en 1978.

La USLE establece que:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

- A: Pérdida de suelo actual
- R: Erosividad de las lluvias
- K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica
- L: longitud de la pendiente
- S: Grado de la pendiente.

Se los denomina factor topográfico (LS) y se los determina conjuntamente.

- C: Factor cultivo o cobertura
- P: factor practica conservacionista

El producto de estos 6 factores estima la erosión hídrica actual (A) para una situación determinada de clima, suelo, relieve, cultivo y manejo.

EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS (R)

Los datos de R o erosividad de las lluvias están publicados en el Manual de Sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes de la EEA INTA Paraná.

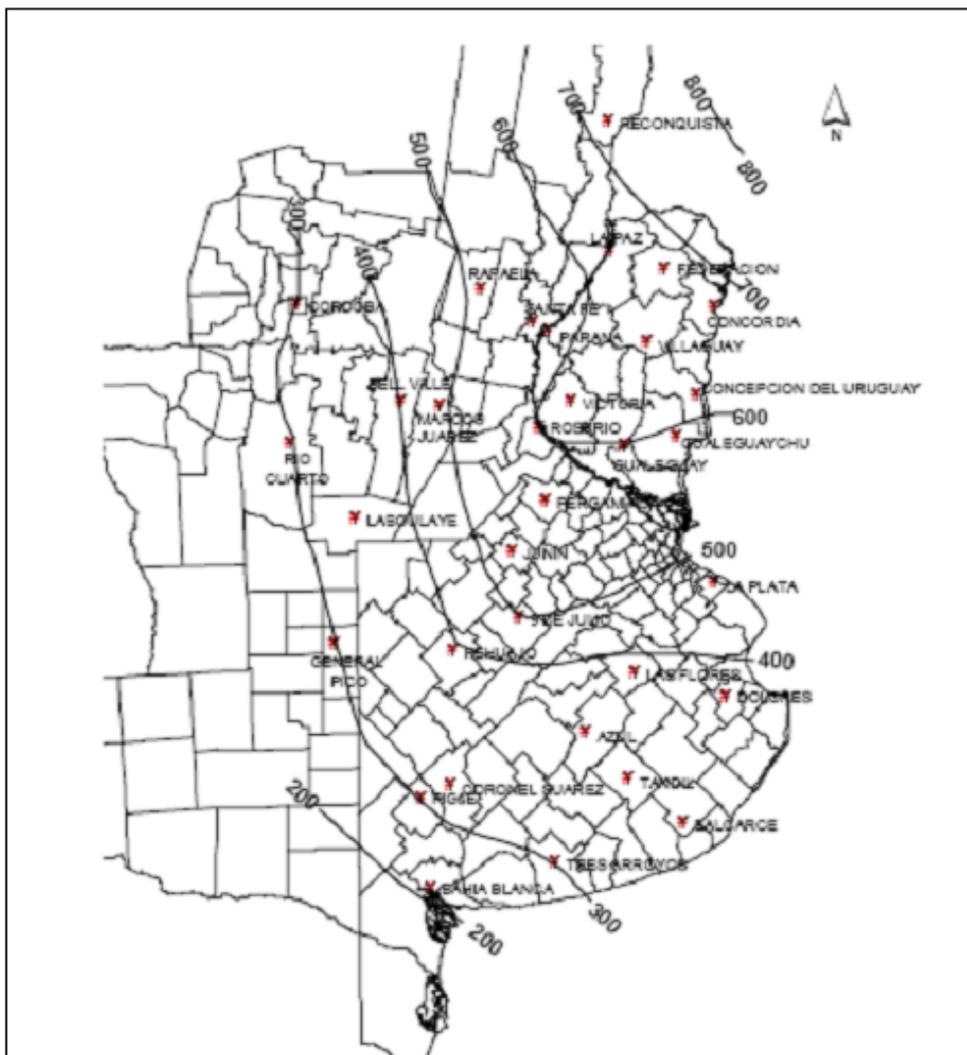


Figura 1: Isolíneas de erosividad de las lluvias (Factor R expresado en \bar{t} m mm/ha h año) (INTA, 1980)

Tabla 1: Índice mensual (r) y anual (R) de erosividad de la lluvia (t m mm/ha h año) para algunas localidades de la Región Pampeana (INTA, 1980)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Concordia	97	56	92	85	33	37	27	17	44	72	65	46	671
Junín	82	39	97	37	19	7	14	7	17	55	78	45	497
Córdoba	59	64	42	5	5	3	0	5	3	36	41	52	315
Pehuajó	58	44	54	32	21	6	17	5	17	29	41	39	353
Paraná	93	53	96	54	16	11	13	5	12	64	56	59	532
Rafaela	103	66	105	43	29	6	6	4	9	23	53	68	520
Reconquista	74	121	80	69	19	28	6	11	18	103	74	129	732
Rosario	83	78	120	67	20	13	10	10	13	51	67	71	603
Pergamino	64	62	70	41	25	10	14	9	17	52	50	59	473
Azul	56	34	84	14	20	7	15	20	15	20	42	47	374
Cnel Suárez	22	45	66	27	14	6	5	13	8	19	35	36	296

1. Con los datos de r mensual y R anual (Tabla 1) complete la siguiente Tabla para las localidades de Pergamino y Coronel Suárez.

Localidad	Reconquista			Rosario			Córdoba			Paraná			Azul			Pergamino			Coronel Suarez		
	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
<i>Mes</i>	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
Enero	74	10	10	83	14	14	59	19	19	93	17	17	56	15	15						
Febrero	121	17	27	78	13	27	64	20	39	53	10	27	34	9	24						
Marzo	80	11	38	120	20	47	42	13	52	96	18	45	84	22	47						
Abril	69	9	47	67	11	58	5	2	54	54	10	56	14	4	50						
Mayo	19	3	50	20	3	61	5	2	56	16	3	59	20	5	56						
Junio	28	4	53	13	2	63	3	1	57	11	2	61	7	2	57						
Julio	6	1	54	10	2	65	0	0	57	13	2	63	15	4	61						
Agosto	11	2	56	10	2	67	5	2	58	5	1	64	20	5	67						
Septiembre	18	2	58	13	2	69	3	1	59	12	2	66	15	4	71						
Octubre	103	14	72	51	8	77	36	11	70	64	12	78	20	5	76						
Noviembre	74	10	82	67	11	88	41	13	83	56	11	89	42	11	87						
Diciembre	129	18	100	71	12	100	52	17	100	59	11	100	47	13	100						
<i>R anual ($\frac{t\ m\ mm}{ha\ h\ año}$)</i>	732			603			315			532			374								

r1: Valor absoluto de r mensual en (t m mm/ha h año)

r2: valor relativo de r mensual (% sin decimales)

r3: valor de r mensual acumulado (% acumulado, sin decimales)

2. Realice un gráfico de r1 para las localidades de Reconquista, Córdoba, Paraná y Coronel Suárez. Represente en el eje de las ordenadas los valores de r1 y en las abscisas los meses del año.

130																							
120																							
110																							
100																							
90																							
80																							
70																							
60																							
50																							
40																							
30																							
20																							
10																							
0																							
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D											

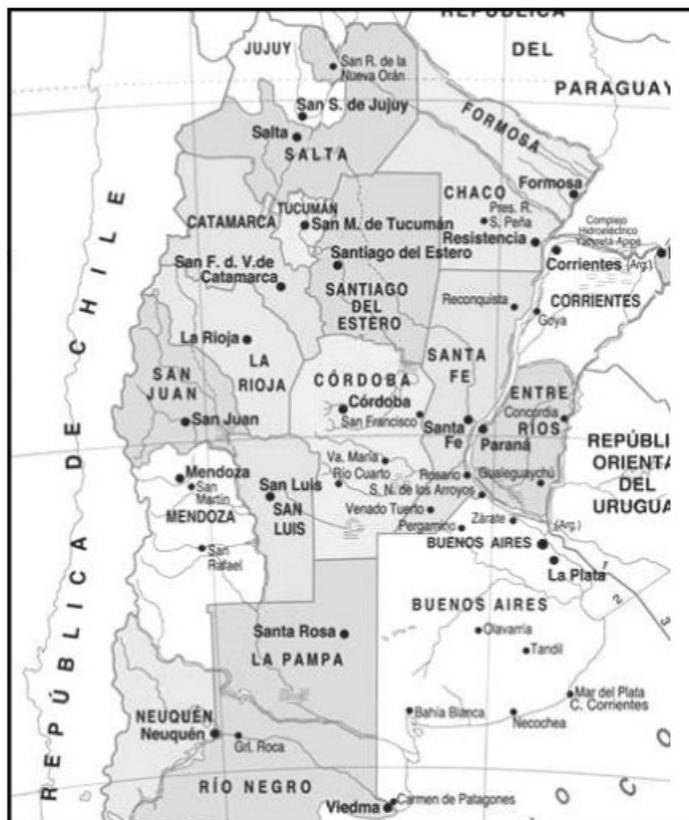
3. Realice un gráfico de r2 para la localidad de Azul

25												
20												
15												
10												
5												
0	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

4. Realice el gráfico de r3 para la localidad de Paraná

100												
90												
80												
70												
60												
50												
40												
30												
20												
10												
0												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

5. Ubique cada una de las localidades en un mapa de la República Argentina



6. Establezca la variación geográfica del R anual

7. Determine los meses de mayor y menor erosividad de las lluvias en cada localidad analizada. Compare las localidades entre sí. Saque conclusiones.

ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

Para estimar el valor de la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (K) es necesario contar con datos edáficos específicos. El valor de K en unidades del sistema métrico decimal, se calcula mediante la siguiente ecuación modificada de Wischmeier y Smith (1978)

$$100 K = 1,292 \cdot [2,1 M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5 \cdot (c - 3)]$$

- $K: (t/ha) \times R(SMD)^{-1}$
- M: (% limo +% arena muy fina) * (100 - % de arcilla)
Arcilla: fracción < 2 μm
Limo: 2 a 50 μm
Arena muy fina: 50 a 100 μm
- a: % de materia orgánica de la capa superficial del suelo.
Cuando el dato disponible es en carbono orgánico debe multiplicarse por 1.724
- b: estructura superficial, corresponde 1, 2, 3 o 4 según la siguiente escala:

Estructura superficial	Valor de b
Muy buena estructura. Granular muy fina	1
Buena estructura. Granular fina	2
Estructura regular	3
Mala estructura. Bloques, laminar o masiva	4

- c: permeabilidad de la capa menos permeable del perfil, corresponde 1 a 6 según la siguiente tabla:

Permeabilidad	Valor de c
Rápida, mayor a 12,5 cm/h	1
Moderadamente rápida, de 6,25 a 12,5 cm/h	2
Moderada, de 2,0 a 6,25 cm/h	3
Moderadamente lenta, de 0,5 a 2,0 cm/h	4
Lenta, de 0,125 a 0,5 cm/h	5
Muy lenta, inferior a 0,125 cm/h	6

8. Calcule los valores del factor K por fórmula para los perfiles que se adjuntan

	% de limo+arena muy fina	% de arcilla	% de M.O.	Estructura superficial	Permeabilidad	K
<i>Perfil 1</i>						
<i>Perfil 2</i>						
<i>Perfil 3</i>						

9. Establezca una gradación de los perfiles respecto de su mayor erodabilidad

10. Compare los perfiles entre sí y determine en función de que variables aumenta y disminuye la erodabilidad de un suelo a la erosión hídrica.

Si aumenta la erodabilidad?	% M.O.	%arcilla	%L + Ar MF	Permeabilidad	Estructura Sup. Mas gruesa

FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)

El factor topográfico establece el aporte que hace el relieve a la erosión hídrica. Para su cálculo se utiliza la ecuación establecida por Wischmeier y Smith y modificada por FAO, 1977. Esta metodología requiere como datos: la longitud de la pendiente en metros y su pendiente en porcentaje. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$LS = (L/22.1)^m \times (0,0650 + 0,04536 \times P + 0,0065 \times P^2)$$

Donde:

- L: Longitud de la pendiente en m
- P: Pendiente en %
- m: exponente que varía con la pendiente, de la siguiente manera:
 - Para pendientes hasta 0,5% m=0,2
 - Para pendientes entre 1 y 3 % m= 0,3
 - Para pendientes entre 4 y 5 % m= 0,4
 - Para pendientes mayores de 5% m= 0,5

Otra forma de calcular el factor LS es utilizando la siguiente tabla, que vuelca los cálculos de la fórmula.

Tabla 2: Valores del Factor Topográfico (LS) para distintos grados y longitudes de pendiente (Wischmeier y Smith)

Longitud total de la Pendiente, en metros										
%	15	25	50	75	100	150	200	250	300	350
0.5	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
1	0.10	0.12	0.15	0.17	0.18	0.21	0.23	0.24	0.25	0.25
2	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.37	0.40	0.40
3	0.23	0.27	0.33	0.37	0.41	0.45	0.50	0.54	0.57	0.60
4	0.30	0.37	0.48	0.57	0.64	0.75	0.84	0.92	0.99	1.00
5	0.37	0.48	0.68	0.84	0.96	1.18	1.36	1.52	1.67	1.80
6	0.47	0.60	0.86	1.05	1.21	1.48	1.71	1.91	2.10	2.2
8	0.69	0.89	1.26	1.55	1.79	2.19	2.53	2.83	3.10	3.30
10	0.96	1.24	1.75	2.15	2.48	3.04	3.50	3.92	4.29	4.60

11. Calcule por fórmula el factor LS para un lote de 230 metros de longitud y 1.5 % de pendiente.

12. Se consideran tres situaciones de cambios de longitud y grado de la pendiente.

En la primera aumentan progresivamente el grado y la longitud de la pendiente; en la segunda se mantiene constante el grado de la pendiente y aumenta progresivamente la longitud de la pendiente, y en el tercer caso se mantiene constante la longitud de la pendiente y aumenta el grado de la pendiente. Mediante la utilización de la Tabla 2 complete los datos faltantes.

Grado de la pendiente	Long, de la pendiente	LS
1%	100	0.18
5%	200	1.36
10%	300	

Grado de la pendiente	Long, de la pendiente	LS
5%	25	0.48
5%	50	0.68
5%	275	
5%	300	1.67

Grado de la pendiente	Long, de la pendiente	LS
1%	200	0.23
2%	200	0.35
5%	200	1.36
6%	200	

13. Grafique las tres situaciones y saque conclusiones ante:

- aumentos de grado y longitud de la pendiente respecto a pérdidas de suelo
- incrementos iguales de longitud de la pendiente respecto a incrementos de pérdida de suelo, manteniendo el grado de la pendiente constante
- incrementos iguales de grado de la pendiente respecto a incrementos de pérdida de suelo, manteniendo constante la longitud de la pendiente.

Tabla 3: Tabla de pérdidas de suelo relativas estimadas para segmentos sucesivos de igual longitud.

Nº de segmentos	Segmento	Fracción pérdida de suelo		
		Pend. > a 5%	Pend entre 3 y 5 %	Pend <a 3%
2	1	0.35	0.38	0.41
	2	0.65	0.62	0.59
3	1	0.19	0.22	0.24
	2	0.35	0.35	0.35
	3	0.46	0.43	0.41
4	1	0.12	0.14	0.17
	2	0.23	0.24	0.24
	3	0.3	0.29	0.28
	4	0.35	0.33	0.31

14. Calcule el factor LS para pendientes desuniformes en los siguientes ejemplos:

- un lote con pendiente convexa, de 200 metros de longitud, donde en el primer tramo tiene 3% de pendiente y el segundo tramo tiene 7%.
- un lote con pendiente cóncava, de 200 metros de longitud, con el primer tramo de 7% de pendiente y el segundo tramo de 3% de pendiente.

Utilice las Tablas 2 y 3.

Pendiente convexa

Segmento	% de pendiente	Long	LS	Fracción de pérdida	LS corregido	LS
1	3	200				
2	7	200				

Pendiente cóncava

Segmento	% de pendiente	Long	LS	Fracción de pérdida	LS corregido	LS
1	7	200				
2	3	200				

15. Calcule la pérdida de suelo para tres tipos de pendiente, las citadas anteriormente y una pendiente uniforme de 200 metros de longitud de 5% de pendiente en todo el lote. Se considera que el lote pertenece a un suelo similar al Perfil 1 y se encuentra ubicado en Pergamino. Los factores C y P valen 1.

	R	K	LS	A (t ha año ⁻¹)
<i>Pendiente uniforme</i>				
<i>Pendiente convexa</i>				
<i>Pendiente cóncava</i>				

16. Compare las tres situaciones y saque conclusiones

FACTOR CULTIVO Y MANEJO (C)

Involucra todos los aspectos más importantes sobre los cuales el hombre puede actuar para reducir la erosión. Todas las prácticas de uso y manejo que se relacionan con el factor C tienen como objetivo desactivar la energía de la gota de lluvia que cae sobre la superficie del suelo, lo que significa frenar el proceso

Existen tabulaciones para valores de C en áreas boscosas de ciertas características: i) terrenos forestales inalterados ii) terrenos forestales empleados para pastoreo, quemados o cosechados de manera selectiva y iii) terrenos forestales que han tenido labores de preparación de sitio post-cosecha y están en vías o han sido recientemente restablecidos.

Tabla 4. Factor C para terrenos forestales inalterados

Porcentaje de cobertura de árboles y sotobosque	Porcentaje de cobertura de la hojarasca	Factor C
100 – 75	100 – 90	0,0001 – 0,001
75 – 45	85 – 75	0,002 – 0,004
40 – 20	70 – 40	0,003 – 0,009

Tabla 5: Factor C para praderas permanentes, terrenos baldíos y bosques pastoreados

COBERTURA AÉREA		Cubierta superficial en contacto con el terreno (% de suelo cubierto)						
Tipo y Altura	%	Tipo	0	20	40	60	80	95+
No apreciable		G	0,45	0,20	0,10	0,042	0,012	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,091	0,043	0,011
Herbáceas, pastos largos o matorral con altura media de caída de gotas menos a 0,90 metros	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,076	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,10	0,06	0,032	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,068	0,038	0,011
Arbustos o matorrales, con altura media de caída de gotas de 1,95 metros	25	G	0,40	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,04	0,22	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,08	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,082	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,078	0,040	0,011

Árboles, pero sin apreciable cubierta arbustiva o de matorral. Altura media de caída de gotas de 4 metros	25	G	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,089	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,087	0,042	0,011
	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,084	0,042	0,011

G= Cubierta superficial está compuesta por pasto o material en descomposición
W= La cubierta superficial está compuesta de herbáceas con poca cobertura radicular o residuos no descompuestos

Tabla 6: Factor C en área de bosque alterada mecánicamente o con métodos de preparación de sitio

Preparación del sitio	Cobertura del Mulch	Condición del suelo y cobertura de malezas							
		Excelente		Buena		Regular		Mala	
		NC	WC	NC	WC	NC	WC	NC	WC
Discado, rastrillado o preparado para semillas	0	0,52	0,2	0,72	0,27	0,85	0,32	0,94	0,36
	10	0,33	0,15	0,46	0,2	0,54	0,24	0,60	0,26
	20	0,24	0,12	0,34	0,17	0,40	0,20	0,44	0,22
	40	0,17	0,11	0,23	0,14	0,27	0,17	0,30	0,19
	60	0,11	0,08	0,15	0,11	0,18	0,14	0,20	0,15
	80	0,05	0,04	0,07	0,06	0,09	0,08	0,10	0,09
Quemas	0	0,25	0,10	0,26	0,10	0,31	0,12	0,45	0,17
	10	0,23	0,10	0,24	0,10	0,26	0,11	0,36	0,16
	20	0,19	0,10	0,19	0,10	0,21	0,11	0,27	0,14
	40	0,14	0,09	0,14	0,09	0,15	0,09	0,17	0,11
	60	0,08	0,06	0,09	0,07	0,10	0,08	0,11	0,08
	80	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05
Trituración de residuos	0	0,16	0,07	0,17	0,07	0,20	0,08	0,29	0,11
	10	0,15	0,07	0,16	0,07	0,17	0,08	0,23	0,10
	20	0,12	0,06	0,12	0,06	0,14	0,07	0,18	0,09
	40	0,09	0,06	0,09	0,06	0,10	0,06	0,11	0,07
	60	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05
	80	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04

NC= sin vegetación viva; WC= con un 75% de pasto y malezas, implicando una altura media de goteo de 1,27 metros

17. Calcule la pérdida de suelo en un lote ubicado en la localidad de Pergamino, Serie Arroyo Dulce, de 200 metros de longitud y 2% de pendiente, bajo diferentes situaciones laboreadas a favor de la pendiente:

Situación	R	K	LS	C	P	A (t ha año ⁻¹)
A						
B						
C						
D						

Situación A: Bosque nativo, 50% de cobertura de copas y 80% de cobertura de hojarasca.

Situación B: Sistema silvopastoril, 50% cobertura, altura media de los árboles 4 m, cubierta superficial de pastos y 60% de cubierta superficial en contacto con el suelo.

Situación C: Quema del sitio para implantación, con 10% de cobertura, pobre cobertura de malezas.

Situación D: Lote cultivado con Soja (C=0,45)

FACTOR PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS (P)

Corresponde a las prácticas conservacionistas que actúan sobre el escurrimiento. Para que el valor de P sea igual a 1, se considera que el cultivo se realiza a favor de la pendiente.

Tabla 7: Factor P de Prácticas de conservación (Wischmeier y Smith, 1978)

Pendiente (%)	Cultivo en contorno		P para cultivo en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1-2	0,6	122	0,12
3-5	0,5	91	0,10
6-8	0,5	61	0,10
9-12	0,6	37	0,12
13-16	0,7	24	0,14
17-20	0,8	18	0,16
21-25	0,9	15	0,18

**Se pondera por 0.8 si se realizan contornos con pilas de residuos de la cosecha anterior*

18. Sobre el mismo lote y con las mismas situaciones se realiza cultivo en contorno. Calcule la Pérdida de suelo. Utilice la Tabla 7.

Situación	R	K	LS	C	P	A (t ha año ⁻¹)
A						
B						
C						
D						

TOLERANCIA A LA PÉRDIDA DE SUELO (T)

La Tolerancia es la tasa máxima de pérdida admisible o pérdidas tolerables de suelo, es decir el nivel máximo de erosión que permite mantener un nivel productivo alto y sostenible indefinidamente.

Tabla 8: Tolerancia a la pérdida de suelo (t ha⁻¹ año⁻¹)

Profundidad explorada raíces	Sustrato favorable	Sustrato NO favorable
Menos de 25 cm	2,2	2,2
25 a 50 cm	4,5	2,2
50 a 100 cm	6,7	4,5
100 a 150 cm	9,0	6,7
Mas de 150 cm	11,2	11,2

19. Calcule la Tolerancia a la Pérdida de Suelo de los perfiles que se adjuntan usando la Tabla 8

Perfil	1	2	3
Tolerancia (t ha ⁻¹ año ⁻¹)			

20. Se pretende aprovechar una plantación forestal destinada a uso silvopastoril ubicada en el partido de Pergamino. Las estimaciones señalan que la extracción de un 50% del área basal actual podría ser rentable, siempre y cuando no implique daños por erosión superiores a las 6 t ha⁻¹ año⁻¹. El sistema está implantado en un suelo clasificado como serie Arroyo Dulce, sobre un lote de 200 m de longitud y 2% de pendiente, laboreo a favor de la pendiente. Los árboles tienen una altura media de 4 m sus copas cubren un 50% y el suelo tiene una cobertura vegetal de un 40%. ¿Es factible el aprovechamiento? Y si no lo fuera ¿que podría realizar? ¿Cual es la pérdida de suelo en t/ha/año antes y después del aprovechamiento? El factor C previo y post aprovechamiento ¿es constante? Y si varía, ¿porque lo hace?

PERFIL 1: SERIE ARROYO DULCE (AD)

Es un suelo oscuro, muy profundo, con aptitud agrícola, en un paisaje de lomas extendidas, en posición de loma de la Subregión Pampa Ondulada alta, formado en sedimentos loésicos, franco limoso, no alcalino, no salino, con gradiente de 0 a 3 %.

Clasificación Taxonómica: Argiudol Típico, Fina, illítica, térmica (USDA-Soil Taxonomy 2006)

Descripción del perfil típico: 11/347C - Mosaico 3560-3-1. Fecha de extracción: 18-11-65.

Ap1	0 a 14 cm; pardo (10YR 4/3) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limoso; granular muy fina débil; friable; no plástico y no adhesivo; raíces abundantes; límite abrupto suave.
Ap2	14 a 34 cm; pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco; negro (10YR 2/1) en húmedo; franco limoso; granular fina débil; friable; no plástico y no adhesivo; raíces comunes; límite claro suave. (El espesor del A varía entre 20 y 38 cm).
AB	34 a 45 cm; pardo (10YR 5/3) en seco; pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco limoso; granular fina débil; friable; no plástico y no adhesivo; raíces escasas; límite claro suave. (0 a 15 cm).
BAt	45 a 58 cm; pardo (10YR 5/3) en seco; pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios moderados; friable; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces escasas; límite gradual suave. (8 a 15 cm).
Bt1	58 a 77 cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en seco; pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; prismas medios y gruesos moderados que rompe en bloques angulares; firme; muy plástico y muy adhesivo; barnices ("clay skins") abundantes; límite gradual ondulado.
Bt2	77 a 97 cm; pardo (7,5YR 5/4) en seco; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arcillo limoso; prismas medios y gruesos moderados; firme; plástico y ligeramente adhesivo; barnices ("clay skins") abundantes; límite gradual, ondulado. (El espesor del Bt varía entre 40 y 90 cm).
BC1	97 a 119 cm; pardo (7,5YR 5/4) en seco; pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; franco limoso; subangulares medios débiles; friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; límite gradual ondulado.
BC2	119 a 140 cm; amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco; pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; franco limoso; bloques medios muy débiles; friable; límite gradual ondulado. (El BC varía entre 25 y 78 cm).
C	140 a 220 cm; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; franco limoso; masivo; friable.

Observaciones: Texturas muy arenosas con más del 60% de fracción arena.

Ubicación del Perfil: Latitud S: 34° 44' 20"; longitud O: 62° 34' 12". Altitud 106 m.s.n.m. A 11,5 km. al sudoeste de la localidad de Saboya, partido de General Villegas, provincia de Buenos Aires. Mosaico I.G.M. 3563-10-4, Colonia Basavilbaso.

Variabilidad de las características: El Bw puede presentar variaciones en el contenido de arcilla.

Fases: Se reconocieron fases por drenaje.

Series similares: Lincoln, Carlos Tejedor, Estación Naón.

Suelos asociados: Pichincha, Balbín, Lincoln, Santa Ana, Carlos Tejedor.

Distribución geográfica: Partidos de General Villegas, General Pinto, Ameghino, Rivadavia, Carlos Tejedor, norte de Trenque Lauquén, norte de Pehuajó, este de Lincoln; en las cartas I.G.M. 3563-9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30 y 33.

Drenaje y permeabilidad: Algo excesivamente drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderada, profundidad de la capa freática mayor a 100 cm.

Uso y vegetación: Agrícola.

Capacidad de uso: IV s

Limitaciones de uso: Baja retención de humedad y escasa Capacidad de Intercambio Catiónico (bajo CIC).

Índice de productividad según la región climática: 52,6 (B)

Rasgos diagnósticos: Epipedón mólico, régimen de humedad údico, escaso desarrollo genético (horizonte cámbico Bw).

DATOS ANALÍTICOS

HORIZONTES	Ap1	Ap2	AB	BAt	Bt1	Bt2	BC1	BC2	C
Profundidad (cm)	0-14	14-34	34-45	45-58	58-77	77-97	97-120	120-140	140-220
Mat. orgánica (%)	3,89	3,31	1,58	0,93	0,88	0,72	0,41	0,22	0,15
Carbono total (%)	2,26	1,92	0,92	0,54	0,51	0,42	0,24	0,13	0,09
Nitrógeno (%)	0,224	0,197	0,093	0,070	0,076	0,066	0,053	0,049	0,028
Relación C/N	10	10	10	8	7	6	4	3	NA
Arcilla < 2 μ (%)	20,6	24,6	26,8	32,4	39,8	39,4	26,1	23,2	19,3
Limo 2-20 μ (%)	27,1	26,7	28,9	21,1	18,4	21,2	21,0	23,5	NA
Limo 2-50 μ (%)	63,9	62,6	57,9	53,2	48,2	46,6	53,5	54,7	59,4
AMF 50-75 μ (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMF 75-100 μ (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMF 50-100 μ (%)	10,9	11,1	14,6	12,5	10,1	12,9	18,3	19,2	17,9
AF 100-250 μ (%)	3,4	1,3	0,7	1,8	1,8	1,0	1,9	2,5	2,4
AM 250-500 μ (%)	0,7	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6
AG 500-1000 μ (%)	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
AMG 1-2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Calcáreo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eq.humedad (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Re. pasta Ohms	2005	2497	5426	4951	2829	2604	3453	3285	4117
Cond. mmhos/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH en pasta	5,4	5,3	5,6	5,6	5,5	5,7	5,7	5,8	6,2
pH H ₂ O 1:2,5	6,2	6,2	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	6,9	7,0
pH KCL 1:2,5	5,5	5,4	5,1	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	NA
CATIONES DE CAMBIO									
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	16,1	14,8	11,7	11,1	17,3	18,1	14,9	13,3	13,7
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	2,2	2,4	2,8	3,8	5,5	6,2	4,3	4,2	4,2
Na ⁺ m.eq./100gr	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	1,2	0,5	0,4	0,5
K m.eq./100gr	2,1	1,5	1,2	0,9	1,5	1,7	1,6	1,6	1,8
H m.eq./100gr	6,2	7,0	5,5	5,1	6,2	6,0	4,6	4,0	3,3
Na (% de T)	1,9	2,2	2,4	2,6	1,7	4,0	2,2	1,8	2,3
V.S m.eq./100gr	20,8	19,2	16,2	16,3	24,8	27,2	21,3	19,5	20,2
CIC m.eq./100gr	22,8	22,3	20,5	19,4	28,5	29,4	23,1	22,2	21,7
Sat. con bases (%)	91	86	79	84	87	92	92	88	93
NA: No analizado									

PERFIL 2: SERIE RAMALLO (RR)

Es un suelo profundo, de aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje de planicies altas, en posición de loma, en la Subregión Pampa Ondulada alta, moderadamente bien drenado, con material originario loésico, franco limoso, no alcalino, no sódico, con pendientes que no superan el 0.5 %.

Clasificación taxonómica: Argiudol Vértico, Fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006).

Descripción del perfil típico: N° 6/358C. Extracción de muestra: año 1967.

Ap	0-13 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares finos débiles; duro; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; límite inferior claro, suave.
A	13-27 cm; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares finos, débiles; duro; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; límite inferior claro, suave.
AB	27-40 cm; pardo (7,5YR 5/2) en seco; pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios moderados; firme; plástico; adhesivo; barnices ("clay skins") escasos; límite inferior abrupto, suave.
Btss	40-76 cm; pardo (7,5YR 5/2) en seco; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo; arcilloso; en prismas gruesos fuertes; muy firme; muy plástico; adhesivo; barnices ("clay skins") muy abundantes; "slickensides" abundantes; límite inferior claro, suave.
Bt	76-131 cm; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; pardo (7,5YR 5/2) en húmedo; arcillo limoso; prismas gruesos moderados; muy firme; muy plástico; adhesivo; barnices ("clay skins") abundantes; "slickensides" escasos; límite inferior gradual, suave.
BC	131-198 cm; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arcillo limoso; bloques angulares medios moderados; firme; plástico; adhesivo; barnices ("clay skins") escasos; límite inferior gradual, ondulado.
C	198-220 cm; pardo claro a rosado (7,5YR 6,5/4) en seco; pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; franco limoso; masivo; friable; concreciones calcáreas abundantes; escasa cantidad de carbonatos libres en la masa.

Ubicación del perfil: Latitud: S 33° 40' 50" y Longitud: W 60° 03' 10". Altitud: 48 m.s.n.m. a 11 km. al nor-noroeste de Pérez Millán, partido de Ramallo, provincia de Buenos Aires; hojas I.G.M. 3360-33 y 3360-32

Variabilidad de las características: el A varía entre 25 y 32 cm. El Bt tiene entre 50 a 92 cm. de espesor, con texturas arcillo limosas, con valores de arcilla que varía entre 45 a 60 %, el BC puede tener concreciones calcáreas.

Fases: Se han reconocido en diversos grados, por drenaje, erosión y por espesor.

Series similares: Peyrano.

Suelos asociados: Santa Lucía, Manantiales, Atucha y Roldán.

Distribución geográfica: Partidos de Ramallo, San Nicolás, Nordeste de Pergamino y San Pedro, en la provincia de Buenos Aires. Hojas I.G.M. 3360-33- 1 y 2, 3360-34-1 y 3360-27 y 28.

Drenaje y permeabilidad: Moderadamente bien drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente lenta.

Uso y vegetación: Rastrojo de maíz (Zea maíz)

Capacidad de uso: II w.

Limitaciones de uso: Drenaje impedido.

Índice de productividad según la región climática: 65 (A), 62 (B).

Rasgos diagnósticos: Régimen de humedad údico, epipedón mólico, horizonte argílico con características vérticas (incremento de la fracción arcilla de más del 20 % dentro de 7,5 cm. de profundidad).

DATOS ANALÍTICOS

HORIZONTES	Ap	A	AB	Btss	Bt	BC	C
Profundidad (cm)	0-13	13-27	27-40	40-76	76-131	131-198	198-220
Mat. orgánica (%)	4,27	2,93	1,70	1,31	0,58	0,36	0,13
Carbono total (%)	2,48	1,70	0,99	0,76	0,34	0,21	0,08
Nitrógeno (%)	0,235	0,165	0,095	0,073	0,041	NA	NA
Relación C/N	10	10	10	10	8	NA	NA
Fósforo (PPM)	-	-	-	-	-	-	-
Arcilla < 2 µ (%)	28,9	31,7	34,1	56,5	40,3	38,5	26,2
Limo 2-20 µ (%)	-	-	-	-	-	-	-
Limo 2-50 µ (%)	66,4	64,2	61,4	39,6	55,3	56,7	66,4
AMF 50-75 µ (%)	-	-	-	-	-	-	-
AMF 75-100 µ (%)	-	-	-	-	-	-	-
AMF 50-100 µ (%)	4,3	3,7	4,1	3,7	3,9	4,4	4,4
AF 100-250 µ (%)	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5
AM 250-500 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AG 500-1000 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AMG 1-2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcareo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eq.humedad (%)	30,3	31,3	29,5	45,5	34,5	35,5	32,3
Re.pasta.Ohms	-	-	-	-	-	-	-
Cond. mmhos/cm	-	-	-	-	-	-	-
pH en pasta	5,5	5,5	5,6	5,9	6,3	6,6	7,6
pH H ₂ O 1:2,5	5,9	6,3	6,4	6,9	7,4	7,4	8,3
pH KCL 1:2,5	-	-	-	-	-	-	-
CATIONES DE CAMBIO							
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	14,9	15,6	14,8	26,5	20,9	25,4	NA
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	3,0	3,4	3,2	6,2	4,4	5,0	NA
Na ⁺ m.eq./100gr	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	NA
K m.eq./100gr	1,8	1,5	1,2	2,0	1,9	2,2	NA
H m.eq./100gr	9,3	7,9	6,0	7,6	4,2	4,8	NA
Na (% de T)	1,6	1,5	2,6	2,0	2,7	2,3	NA
V.S m.eq./100gr	20,1	20,9	19,8	35,5	28,0	33,4	NA
CIC m.eq./100gr	24,4	25,1	23,1	38,5	28,7	34,2	27,6
Sat.con bases (%)	82	83	86	92	98	98	NA
NA: No analizado							

PERFIL 3: SERIE SAFORCADA (SS) Es un suelo profundo, arenoso, con escaso desarrollo, de aptitud agrícola que se encuentra en un paisaje ondulado, ocupando algunas de las crestas de lomas y medias lomas de la Subregión Pampa Arenosa, algo excesivamente drenado, habiendo evolucionado sobre un sedimento eólico areno-francos y arenosos de origen medaneso, no alcalino, no salino con pendiente predominante de 0-1 % (hasta 3 % en pendientes muy cortas).

Clasificación Taxonómica: Hapludol Éntico, Franca gruesa; mixta, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006).

Descripción del perfil típico: 12/1003 C. Fecha de extracción de muestras, 17 de mayo de 1967.

Ap	0-16 cm; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; areno franco; granular media moderada, que rompe a grano simple; muy friable a suelto; límite inferior abrupto, suave.
A	16-38 cm; pardo muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 2.5/2) en húmedo; pardo grisáceo a pardo grisáceo oscuro (10YR 4.5/2) en seco; areno franco a franco arenoso; bloques angulares medios débiles que rompe a granular débil y a grano simple; muy friable; límite inferior claro, suave.
AC	38-73 cm; pardo oscuro (10YR 3.5/3) en húmedo; pardo (10YR 5/3) en seco; areno franco; bloques subangulares medios débiles que rompe a granular y a grano simple; muy friable a suelto; límite inferior claro, suave.
C	73-110 cm; pardo amarillento oscuro (10YR 3.5/4) en húmedo; pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco; areno franco a arenoso; bloques subangulares medios débiles y masivo, que rompen a grano simple; suelto.

Ubicación del perfil: Latitud: S 34° 24' 50". Longitud: W 61° 05' 08". Altitud: 95 m.s.n.m. a 5,3 km. al noroeste de la Estación Agustina, (F.C.G.S.M.) partido de Junín, provincia de Buenos Aires. Hoja I.G.M. 3560-7-2, Gral. Arenales, provincia de Buenos Aires.

Variabilidad de las características: El Epipedón mólico varía entre 25 y 38 cm. de espesor; pardo grisáceo muy oscuro y pardo oscuro (10YR 2/2 y 3/2) en húmedo; franco arenoso a areno franco, con 7 a 13 % de arcilla. Seguido de un horizonte AC, con 7 a 12 % de arcilla y 70 a 85 % de arenas, colores pardo oscuro y pardo amarillento oscuro (10YR 3/3) en húmedo; el C aparece entre 50 y 90 cm. de profundidad, pardo a pardo oscuro (10YR 3/4 y 4/4) en húmedo, con 7 a 9 % de arcilla y 76 a 85 % de arenas.

Fases: No se registraron.

Series Similares: Ninguna.

Suelos Asociados: Santa Isabel, Las Parvas, Fortín Tiburcio.

Distribución geográfica: Partidos de Junín, y Gral. Arenales, provincia de Buenos Aires. Fotomosaicos: 3560-8-3; 35607-2; 3560-7-4; 3560-1-3.

Drenaje y permeabilidad: Algo excesivamente drenado y suelo permeable (moderadamente rápida), con escurrimiento medio, sin peligro de anegamiento y nivel freático profundo.

Uso y vegetación: Campo arado; altamisa (*Artemisia vulgaris*), abrojo (*Xanthium spinosum*), sorgo de alepo (*Sorghum halepense*), roseta ssp.

Capacidad de uso: IV es.

Limitaciones de uso: Drenaje excesivo, peligro de erosión.

Índice de productividad: Según la región climática: 43,1 (A); 40,9 (B)

Rasgos Diagnósticos: Epipedón mólico (38 cm.), régimen de humedad údico, escaso desarrollo, no tiene horizonte B.

DATOS ANALÍTICOS

HORIZONTES	Ap	A	AC	C
Profundidad (cm)	0-16	16-38	38-73	73-140
Mat. orgánica (%)	1,44	1,19	0,36	0,15
Carbono total (%)	0,84	0,69	0,21	0,09
Nitrógeno (%)	0,082	0,064	0,034	NA
Relación C/N	10	11	6	NA
Arcilla < 2 μ (%)	8,5	9,5	8,8	8,0
Limo 2-20 μ (%)	-	-	-	-
Limo 2-50 μ (%)	9,3	9,5	8,0	6,4
AMF 50-75 μ (%)	-	-	-	-
AMF 75-100 μ (%)	-	-	-	-
AMF 50-100 μ (%)	67,7	66,4	67,6	69,4
AF 100-250 μ (%)	14,5	14,6	15,6	16,2
AM 250-500 μ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
AG 500-1000 μ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
AMG 1-2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcáreo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
Eq.humedad (%)	9,6	10,3	8,6	7,3
Re. pasta Ohms	-	-	-	-
Cond. mmhos/cm	-	-	-	-
pH en pasta	5,7	6,0	6,2	6,8
pH H ₂ O 1:2,5	6,1	6,7	6,7	7,5
pH KCL 1:2,5	-	-	-	-
CATIONES DE CAMBIO				
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	8,4	6,4	6,4	5,3
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	1,4	1,6	2,9	2,6
Na ⁺ m.eq./100gr	0,2	0,2	0,3	0,4
K m.eq./100gr	1,3	1,3	0,9	1,4
H m.eq./100gr	5,4	5,0	3,1	1,7
Na (% de T)	1,5	1,5	2,7	3,8
Suma bases	11,3	9,5	10,5	9,7
CIC m.eq./100gr	12,9	13,1	11,0	10,5
Sat. con bases (%)	88	73	95	92
NA: No analizado				

PARTE II

DISEÑO DE ESTRUCTURAS: DIMENSIONAMIENTO DE DESAGÜES VEGETADOS Y CANALES DE GUARDA

EJERCICIO 1: CÁLCULO DE CAUDAL

Aplicando el **Método Racional de Ramser** calcule el pico de escurrimiento (m^3/s) a la salida de una subcuenca próxima a la localidad de Tandil a los fines de diseñar un desagüe vegetado.

DATOS:

- Localidad: Tandil
- Superficie de la subcuenca: 200 ha
- Longitud desde la salida hasta el punto más alejado: 1830 m
- Pendiente ponderada desde la salida hasta el punto más alejado: 2 %
- En 50 ha de la subcuenca: Cubierta por bosque sobre suelo de textura franco arenosa y relieve ondulado.
- En 150 ha de la subcuenca: con relieve plano y suelo de igual textura, de las cuales la mitad de la superficie está implantada con pasturas y el resto con cultivos.

Fórmula Racional o de Ramser

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

- Q= pico de escurrimiento (m^3/s)
- C= coeficiente de escurrimiento (adimensional)
- I= intensidad de la lluvia (mm/h)
- A= área de la cuenca (ha)

Para la estimación del coeficiente C, existen varias tablas de diferentes autores, la tabla 1 es un ejemplo de ellas.

Tabla 1. Coeficientes de escurrimiento según Schwab et al. (1990)

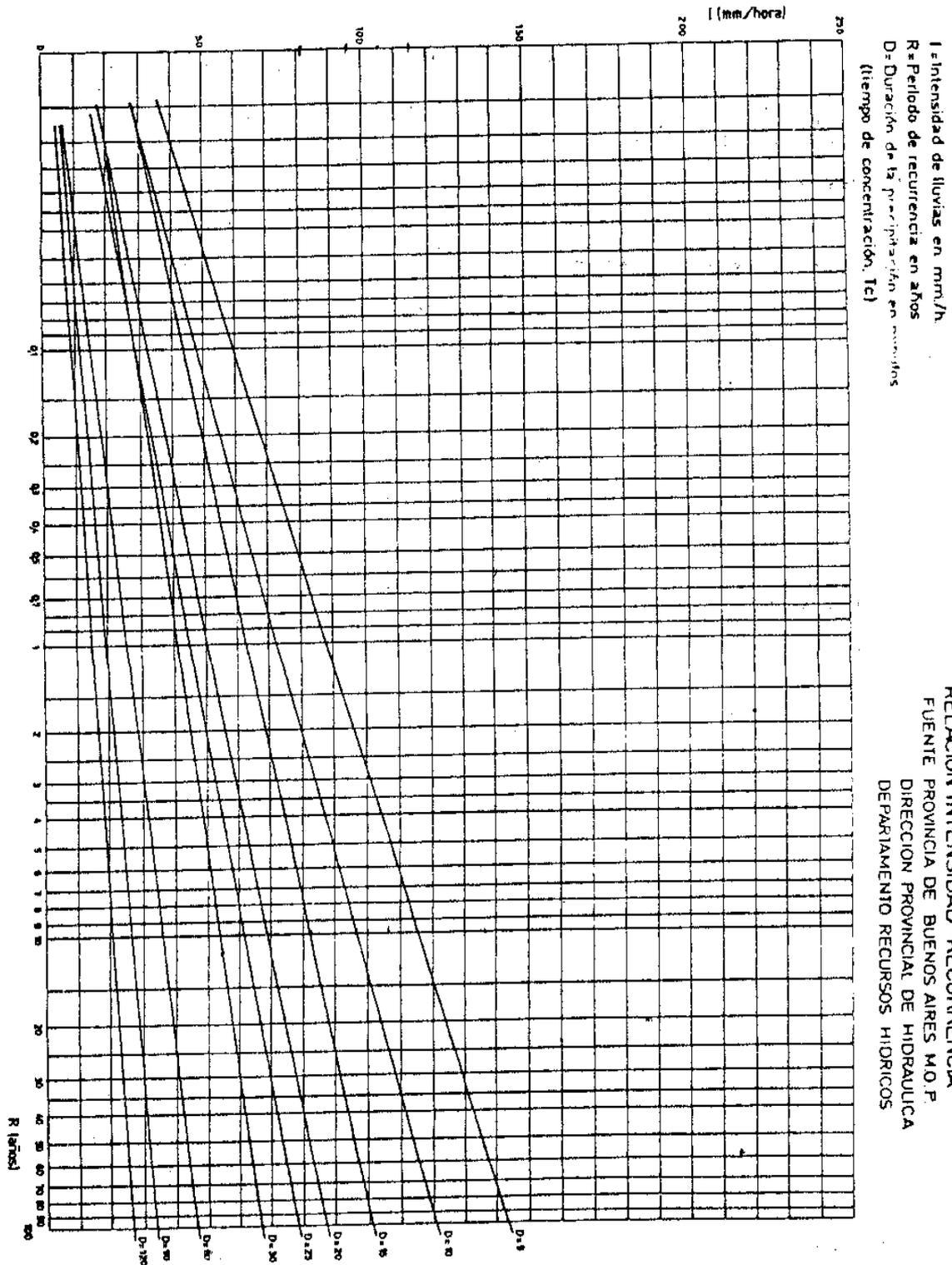
	Condiciones de Relieve y Vegetación	Textura		
		Franco-Arenoso	Franco-Limoso y Franco-Arcilloso	Arcilloso
BOSQUE O	Plano (0-5 %)	0,10	0,30	0,40
	Ondulado (5-10%)	0,25	0,35	0,50
MONTE	Colinado (10-30 %)	0,30	0,50	0,60
PASTURA	Plano (0-5 %)	0,10	0,30	0,40
	Ondulado (5-10%)	0,16	0,36	0,55
	Colinado (10-30 %)	0,22	0,42	0,60
CULTIVADO	Plano (0-5 %)	0,30	0,50	0,60
	Ondulado (5-10%)	0,40	0,60	0,70
	Colinado (10-30 %)	0,52	0,72	0,82

Formula de Kirpich

$$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{-0,386}$$

Donde:

- T_c= Tiempo de concentración (minutos)
- L= Longitud máxima de la cuenca (m)
- S= gradiente promedio (m/m)



EJERCICIO 2: DIMENSIONAMIENTO DE DESAGÜE VEGETADO

Diseñe un **Desagüe Vegetado** que implique el menor movimiento de tierra posible para su construcción y que sea transitable en sentido transversal.

DATOS:

- Localidad: Tandil
- Caudal crítico o pico de escurrimiento: 4.2 m³/s (incluye el 10% extra por seguridad)
- Pendiente en el eje del desagüe: 3 %
- Suelo: Argiudol Típico (Horizonte A: 0,4 m)
- Cobertura del desagüe: Vigorosa y de rápido establecimiento
- Transitable = Talud > 7

Velocidades máximas permisibles para canales (Handbook 135, USDA)

Cobertura	Velocidad Máxima (m/s)
Césped Malo	0,9
Césped Normal	1,2
Césped Vigoroso de Rápido Establecimiento	1,5
Césped Vigoroso ya establecido	1,8
Césped de Excelente Calidad o Cuando Sea Inevitable darle menor velocidad	2,1

Fórmulas

Fórmulas	Sección PARABÓLICA
Área del Canal	$A = \frac{2}{3} d * t$
Radio Hidráulico	$Rh = \frac{2}{3} d$
Ecuación de Manning	$V = \frac{Rh^{2/3} * S^{1/2}}{n}$

Donde

- V= Velocidad de flujo (m/s)
- Rh= Radio hidráulico (m)
- S= Pendiente del canal (m/m)
- n= Coeficientes de Rugosidad de Manning (adimensional)
 - n= 0.025 Para suelos desnudos
 - n= 0.035 pobremente vegetados
 - n= 0.045 medianamente vegetados
- A= Área del Canal (m²)
- d= Profundidad del Canal (m)
- t= Ancho del Canal (m)

EJERCICIO 3: DIMENSIONAMIENTO DE CANAL DE GUARDA

Diseñe un Canal de Guarda o Desvío de sección triangular a los fines de proteger un lote a forestar con un frente de 700 m respecto al área de aporte y un ingreso de Caudal Máximo de escurrimiento (Q) de 3 m³/s. Considere una Velocidad Máxima No Erosiva (VMNE) igual a 1 m/s y un Coeficiente de Seguridad del 30%.

Fórmulas	Sección TRIANGULAR
<i>Ecuación de Continuidad</i>	$Q = AC * V$
<i>Área del Canal</i>	$AC = \frac{d * t}{2}$
<i>Radio Hidráulico</i>	$Rh = \frac{AC}{PM}$
<i>Ecuación de Manning</i>	$V = \frac{Rh^{2/3} * S^{1/2}}{n}$

Donde

- Q= Caudal (m³/s)
- AC= Área del Canal (m²)
- V= Velocidad de flujo (m/s)
- d= Profundidad del Canal (m)
- t= Ancho del Canal (m)
- Rh= Radio hidráulico (m)
- PM= Perímetro mojado (m)
- S= Pendiente del canal (m/m)
- n= Coeficientes de Rugosidad de Manning (adimensional)
 - n= 0,025 Para suelos desnudos
 - n= 0,035 pobremente vegetados
 - n= 0,045 medianamente vegetados

Calcule:

1. Ancho del canal (t)
2. Profundidad del canal (d)
3. Gradiente del canal (s)
4. Ancho de caras y taludes