

Un método para la determinación de las demandas de riego

Ha sido tradicional la creencia generalizada en Colombia de que el riego puede ser una práctica complementaria, puesto que la precipitación total anual, en la mayor parte de las regiones agrícolas del país es suficiente para cubrir las necesidades de agua en los cultivos y que solamente aquellos muy intensivos como el de flores para la exportación en la Sabana de Bogotá, o el de caña de azúcar en el Valle del Cauca, justifican la aplicación sistemática del riego.

Esto ha conducido a que durante muchos años, en la planificación integral de los recursos hidráulicos del país, al riego se le ha relegado a un segundo o tercer plano. Esta es, quizá, una de las razones por las cuales los distritos de riego, solamente benefician con riego una porción sustancialmente menor a la inicialmente propuesta.

Por otra parte, si se analiza detenidamente el concepto de agricultura moderna, en esta actividad, como en cualquiera otra donde se busque optimización de los procesos, no debe dejarse ningún factor de producción sin control, teniendo en cuenta que, en última instancia, la agricultura no es sino la utilización de la radiación solar, abundante en los trópicos durante todo el año, y que la planta representa el sistema de captación y transformación de esa energía en alimentos y materia prima vegetal para la industria. Con un aprovechamiento completo de la radiación solar para un valor equivalente a 500 calorías por centímetro cuadrado y por día, los científicos han demostrado que se podrían producir hasta unas cien toneladas de materia seca por hectárea y por año. Esta cifra, obviamente, representa una cifra teórica ideal, pero se constituye en una meta para científicos e investigadores de la genética vegetal. En la actualidad, para llegar a cifras significativas de productividad, se requiere, además de las variedades más productivas de acuerdo al clima, semillas certificadas, control de plagas y enfermedades, que se provea a la planta de un ambiente apropiado en la zona de raíces: esto es agua, oxígeno, nutrientes, etc.

De todas las consideraciones anteriores, se concluye que el riego y el drenaje deberían ocupar un lugar importante dentro de la planificación integral de los recursos hidráulicos del país con el fin de lograr un desarrollo más apropiado de la agricultura. Dentro de este objetivo, el conocimiento de las demandas de riego dentro de los cultivos para las principales zonas agrícolas, representa una información valiosa.

Con este trabajo se pretende proponer un método para la estimación de las demandas de riego, aplicado a las condiciones de Colombia que pueda ser de utilidad para quienes tienen que ver con la planificación de proyectos de adecuación de tierras para riego y drenaje.

Demandas de riego (DR). Son los volúmenes de agua requeridos por un cultivo o grupo de cultivos de una región, durante un período determinado. Se estiman estas demandas en forma mensual o fracción desde la siembra hasta la cosecha.

Uso consuntivo (Uc) o evapotranspiración (ET). Es la cantidad del agua requerida por una planta para sus procesos fisiológicos de transpiración y construcción de tejidos, además de la evaporada del suelo y del follaje. Se mide en milímetros por unidad de tiempo.

Eficiencia de aplicación (Ea). Es la relación entre el agua utilizada efectivamente por las plantas y la aplicada en el terreno. Puede estimarse a partir de tablas según el método de riego proyectado, o evaluarse para los sistemas en operación.

Eficiencia de conducción (Ec). Es la relación entre los caudales al final y al comienzo de una conducción. Puede evaluarse para sistemas en operación y estimarse por analogía con otros proyectos.

Eficiencia del proyecto (Ep). Es el producto de las eficiencias de aplicación y de conducción del proyecto.

Percolación (p). Es la cantidad de agua que fluye de la zona de raíces cuando la capacidad de retención de humedad del suelo está saturada.

Escurrecimiento (q). Es la fracción de agua de lluvia o de riego que no se infiltra y que se mueve sobre la superficie del suelo.

Necesidad de lavado (NL). Fracción de la lámina de riego que debe aplicarse con el propósito de conservar el balance salino del suelo y que debe ser evacuada por el sistema de drenaje.

Lámina de lavado (dL). Espesor de agua que debe colocarse en el suelo para que lave las sales depositadas en el perfil del suelo de suelos salinizados.

Precipitación efectiva (Pe). Fracción de la precipitación que se infiltra y que permanece en la zona de raíces.

Precipitación efectiva esperada (Pe). Cantidad de lluvia efectiva que se espera en una región con un grado de probabilidad determinado.

HERNANDO BURITICA M.
Profesor Asociado

INFORMACION NECESARIA

Geográfica: Localización geográfica del lugar me-

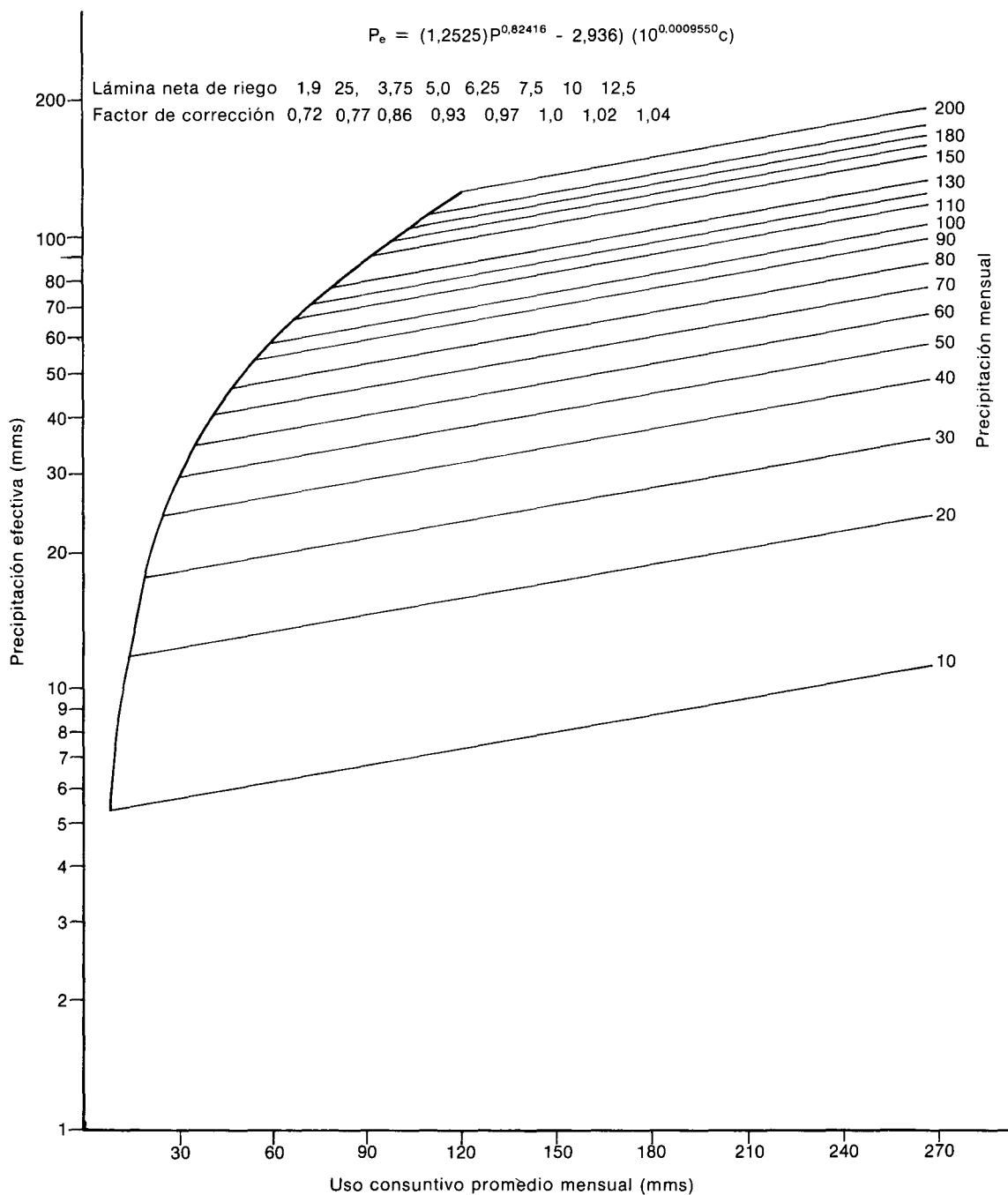


FIGURA 1. Precipitación efectiva en función del uso consuntivo y la precipitación esperada.

dian te coordenadas y altura sobre el nivel del mar.
De cultivos: Tipo de cultivos con superficie de siembra y fechas probables de siembra y recolección.

Clima: Registro de precipitaciones mensuales para un período de por lo menos 15 años de una estación climatológica representativa de la región; evaporación promedio mensual medida en el tanque "A", o en su defecto, registro de temperatura, humedad relativa y brillo solar relativo promedios. Es conveniente disponer de información sobre velocidades del viento promedias.

Suelos: Condiciones de salinidad, textura y profundidad del perfil.

Calidad del agua de riego: Conductividad eléctrica, contenido de cationes y aniones.

Método de riego: Por superficie, aspersión o goteo.
Eficiencia de aplicación y láminas de riego empleadas.

MODELO PROPUESTO

El método se basa en el siguiente método de balance hídrico para el período considerado:

$$NR = \bar{U}_c - P_e$$

$$DR = \frac{NR \cdot A}{E_p} * \frac{1}{[1 - (NL - P)]} + dL \cdot A$$

- NR: Necesidades de riego.
- P_e: Precipitación efectiva esperada.
- U_c: Uso consuntivo promedio ponderado.
- DR: Demandas de riego.
- E_p: Eficiencia del proyecto.
- NL: Necesidades de lavado.
- dL: Lámina de lavado.

Tabla 1

Coefficientes K de uso consuntivo (E_t/E), para algunos cultivos, según el porcentaje del ciclo vegetativo.

(Para multiplicar por la evaporación del tanque o la calculada por las fórmulas de Hargreaves o Christiansen).
(Según Christiansen y Hargreaves)

Cultivo	Porcentaje de crecimiento del cultivo										
	05	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Frijol (habas)	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
Maíz	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
Algodón	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
Sorgo	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.35
Cereales	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
Melón	0.35	0.35	0.45	0.50	0.60	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55
Maní	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
Papa	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
Arroz	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
Soya	0.15	0.20	0.25	0.30	0.45	0.55	0.70	0.80	0.70	0.60	0.50
Hortalizas peq.	0.25	0.30	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.55	0.45	0.30
Tomate	0.20	0.25	0.40	0.60	0.70	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.20
Hortalizas de raíz superficial	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30
Pastos, plátano	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Cítricos, vid	0.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.00
Alfalfa, caña de azúcar	0.00	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.00	0.90	0.80	0.70	0.00

Tabla 2.

Valores medios mensuales de la radiación extraterrestre
(Fórmula de Christiansen) $E = 0,459 R_t C_t C_{hr} C_{bs} C_{w} C_e$

Latitud Grados	Expresado como equivalente de evaporación en mms de agua por día											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Norte												
60	1.41	3.36	6.88	11.31	15.14	17.06	16.25	13.03	8.67	4.58	1.92	0.96
55	2.55	4.62	8.08	12.18	15.55	17.18	16.50	13.71	9.77	5.85	3.11	2.02
50	3.77	5.89	9.23	12.98	15.93	17.30	16.73	14.34	10.79	7.09	4.35	3.21
45	5.04	7.14	10.30	13.69	16.23	17.38	16.91	14.87	11.74	8.30	5.63	4.46
40	6.32	8.36	11.30	14.31	16.45	17.38	17.01	15.32	12.59	9.45	6.90	5.75
35	7.59	9.53	12.21	14.82	16.58	17.30	17.01	15.66	13.35	10.54	8.15	7.04
30	8.84	10.64	13.03	15.23	16.60	17.13	16.92	15.90	14.01	11.55	9.36	8.32
25	10.05	11.68	13.75	15.52	16.51	16.85	17.72	16.02	14.56	12.48	10.53	9.56
20	11.20	12.64	14.37	15.70	16.32	16.48	16.42	16.04	15.00	13.33	11.63	10.76
15	12.29	13.51	14.88	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91
10	13.30	14.28	15.27	15.72	15.61	15.42	15.51	15.72	15.54	14.71	13.61	12.98
5	14.23	14.96	15.55	15.55	15.09	14.74	14.90	15.39	15.63	15.24	14.47	13.98
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
Sur												
5	15.81	15.98	15.75	14.88	13.76	13.12	13.39	14.41	15.46	15.96	15.89	15.72
10	16.45	16.33	15.67	14.37	12.95	12.18	12.51	13.76	15.20	16.15	16.45	16.44
15	16.98	16.55	15.48	13.76	12.06	11.17	11.54	13.01	14.82	16.21	16.89	17.06
20	17.40	16.66	15.16	13.05	11.09	10.10	10.51	12.17	14.33	16.16	17.22	17.57
25	17.71	16.65	14.73	12.24	10.05	8.97	9.42	11.25	13.73	15.90	17.43	17.97
30	17.91	16.32	14.19	11.34	8.95	7.80	8.28	10.25	13.03	15.70	17.54	18.27
35	17.99	16.27	13.54	10.36	7.80	6.61	7.10	9.18	12.23	15.29	17.52	18.46
40	17.98	15.92	12.79	9.31	6.61	5.40	5.89	8.06	11.33	14.78	17.40	18.54
45	17.86	15.46	11.94	8.19	5.41	4.19	4.69	6.89	10.35	14.16	17.18	18.54
50	17.66	14.90	11.00	7.02	4.20	3.02	3.49	5.68	9.29	13.45	16.87	18.46
55	17.40	14.25	9.98	5.81	3.01	1.90	2.34	4.46	8.16	12.64	16.49	18.33
60	17.12	13.54	8.88	4.57	1.88	0.91	1.28	3.24	6.97	11.76	16.07	18.20

P: Percolación.
A: Superficie de riego considerada.

ESTIMACION DEL USO CONSUNTIVO PROMEDIO PONDERADO

Para hacer la estimación del uso consuntivo se recomienda emplear el método de Christiansen, el cual ha dado suficiente grado de aproximación cuando se le ha comparado con mediciones reales de campo en Colombia.

$$U_c = KE$$

K: Factor de cultivo.
E: Evaporación medida en el tanque "A".
 El factor **K** es la relación U_c/E obtenida experimentalmente para distintas etapas del ciclo vegetativo del cultivo y se puede obtener a partir de tablas.

Cuando no es posible obtener información de la evaporación del tanque, esta se puede estimar también a partir de la fórmula propuesta por Christiansen:

$$E' = 0,459R_t C_t C_{hr} C_{bs} C_w C_e$$

E': Evaporación estimada del tanque "A".
R_t: Radiación al topo de la atmósfera en mms. de agua por día.

C_t; C_{hr}; C_{bs}; C_w; C_e: Coeficientes adimensionales de temperatura, humedad relativa, brillo solar, velocidad del viento y altura sobre el nivel del mar.

Para la aplicación de la fórmula, se buscan en las tablas los valores de **R_t** y los coeficientes [1]. En caso de que no se disponga de uno o más datos climatológicos, los coeficientes respectivos de estos datos faltantes se pueden reemplazar por la unidad, pero la aproximación es menor.

Los usos consuntivos se ponderan por el área sembrada con los cultivos respectivos.

ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EFECTIVA ESPERADA

Se parte del registro de precipitación anual de por lo

Tabla 3
 Coeficientes de temperatura, viento, humedad relativa y brillo solar para utilizar en la fórmula de Christiansen.

T	Temperatura media (°C)	Velocidad media del viento			Humedad relativa			Brillo solar	
	C _t	kpd	kph	C _w	H _n [*]	H _m ^{**}	C _{hr}	S	C _{bs}
4	0.507	0	0.00	0.708	0.20	0.33	1.105	0.20	0.676
5	0.536	5	0.34	0.735	0.22	0.35	1.093	0.22	0.687
6	0.565	10	0.67	0.762	0.24	0.38	1.082	0.24	0.698
7	0.595	15	1.01	0.788	0.26	0.40	1.071	0.26	0.708
8	0.624	20	1.34	0.813	0.28	0.43	1.060	0.28	0.718
9	0.654	25	1.68	0.838	0.30	0.45	1.050	0.30	0.729
10	0.684	30	2.01	0.863	0.32	0.47	1.039	0.32	0.738
11	0.715	35	2.35	0.887	0.34	0.49	1.029	0.34	0.748
12	0.746	40	2.68	0.911	0.36	0.51	1.020	0.36	0.758
13	0.777	45	3.02	0.934	0.38	0.53	1.010	0.38	0.767
14	0.808	50	3.35	0.956	0.40	0.55	1.000	0.40	0.777
15	0.839	55	3.69	0.978	0.42	0.57	0.990	0.42	0.786
16	0.871	60	4.02	1.000	0.44	0.59	0.980	0.44	0.796
17	0.903	65	4.36	1.021	0.46	0.60	0.970	0.46	0.805
18	0.935	70	4.69	1.042	0.48	0.62	0.960	0.48	0.815
19	0.967	75	5.03	1.062	0.50	0.64	0.949	0.50	0.824
20	1.000	80	5.37	1.081	0.52	0.66	0.938	0.52	0.834
21	1.033	85	5.70	1.100	0.54	0.67	0.926	0.54	0.844
22	1.066	90	6.04	1.110	0.56	0.69	0.913	0.56	0.854
23	1.099	95	6.37	1.137	0.58	0.70	0.900	0.58	0.865
24	1.133	100	6.71	1.155	0.60	0.72	0.887	0.60	0.875
25	1.167	105	7.04	1.172	0.62	0.74	0.872	0.62	0.886
26	1.201	110	7.38	1.188	0.64	0.75	0.856	0.64	0.897
27	1.235	115	7.71	1.204	0.66	0.77	0.839	0.66	0.908
28	1.270	120	8.05	1.220	0.68	0.78	0.824	0.68	0.920
29	1.304	125	8.38	1.235	0.70	0.80	0.802	0.70	0.932
30	1.339	130	8.72	1.250	0.72	0.81	0.784	0.72	0.945
31	1.375	135	9.05	1.264	0.74	0.83	0.759	0.74	0.958
32	1.410	140	9.39	1.277	0.76	0.84	0.735	0.76	0.971
33	1.446	145	9.73	1.290	0.78	0.85	0.710	0.78	0.985
34	1.482	150	10.06	1.303	0.80	0.87	0.682	0.80	1.000
35	1.518	155	10.40	1.315	0.82	0.88	0.652	0.82	1.015
36	1.555	160	10.73	1.327	0.84	0.90	0.621	0.84	1.031
37	1.591	165	11.07	1.338	0.86	0.91	0.586	0.86	1.047
38	1.628	170	11.40	1.348	0.88	0.92	0.550	0.88	1.064

* H_n: Humedad relativa a las 13 horas.
 H_n: 1 + 0.4H_m + 0.005 H_n² (hargreaves)
 ** H_m: Humedad relativa promedio diaria
 [1] C_e = 0.970 + 9.84 X 10⁻⁵E (m.s.n.m.)

menos 15 años y se hace un análisis de frecuencia para los datos ordenados en forma ascendente. Para tal efecto se puede hacer uso del papel de probabilidad logarítmico-normal. Una discusión sobre las distribuciones de frecuencia más apropiadas para el análisis de este tipo de eventos hidrológicos está fuera del alcance de este escrito. Por la naturaleza del evento (precipitaciones anuales) y objetivos del análisis, la distribución normal de los logaritmos de la precipitación es apropiada.

La línea de regresión de la frecuencia relativa acumulada debe pasar por los puntos:

x(logP)	Prob. (%)
\bar{X}	50
$\bar{X} - s$	15.8
$\bar{X} + s$	84.2

$\bar{X} : \log^{-1}x$
 $X \pm s = \log^{-1}(x \pm s)$

s: Desviación standard de x con relación a x.

La precipitación correspondiente a cada año de la serie ordenada se lleva al papel con una probabilidad:

$$P = m/(n + 1)100$$

m: Número de orden.

n: Número de datos.

El mayor o menor ajuste de la distribución se puede apreciar por el grado de dispersión de los puntos sobre la línea de regresión.

A partir de la línea de regresión se obtiene la precipitación esperada para una probabilidad del 20%. Este dato representa el valor de la precipitación que es igualada o excedida en ocho de cada diez años, o sea que para el proyecto se puede

esperar en promedio que en uno de cada cinco años la precipitación así estimada sea menor.

Para pasar del valor de precipitación anual esperado al mensual esperado se puede establecer la siguiente proporción:

$$\bar{P}_a/\bar{P}_m = mP_a/P_m$$

\bar{P}_a : Precipitación promedio anual.

\bar{P}_m : Precipitación promedia del mes considerado.

P_a : Precipitación anual esperada con probabilidad del 20%.

P_m : Precipitación mensual esperada con probabilidad del 20%.

Con los datos de precipitación mensual esperada y el uso consuntivo de los cultivos se puede obtener la precipitación efectiva esperada utilizando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Fig. 1).

ESTIMACION DE LAS EFICIENCIAS DE APLICACION Y DE CONDUCCION

Las eficiencias se pueden evaluar para sistemas en operación o estimar para proyectos haciendo uso de las tablas respectivas. En riego por goteo se pueden considerar eficiencias cercanas al 100%.

NECESIDADES DE LAVADO Y LAMINA DE LAVADO

Con el fin de conservar el balance salino del suelo y prevenir problemas futuros de salinización, todo sistema de riego debe operar en conjunto con un sistema de drenaje para eliminar los excedentes de riego o de lluvia. Estos excedentes deben pasar a través del perfil del suelo arrastrando el exceso de sales aportado por el agua de riego fuera del terreno al sistema general de drenaje. La fracción que debe percolar con este propósito se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$NL = CE_e/CE_d$$

Tabla 4.
Eficiencia del riego por superficie
(Según Manual Ames 1962)

Textura y topografía	Sistema de riego			
	Melgas	Surcos o Melgas a corrugac.	Melgas en contorno	Melgas a nivel
1. Arenoso				
a) Bien nivel.	60	40-50	45	70
b) Nivel. insuf.	40-50	35	30	—
c) Quebrado	—	20-30	20	—
2. Medio prof.				
a) Bien nivel.	70-75	65	55	70
b) Nivel. insuf.	50-60	55	45	—
c) Quebrado	—	35	35	—
3. Medio poco prof.				
a) Bien nivel.	60	50	45	60
b) Nivel. insuf.	40-50	35	35	—
c) Quebrado	—	30	30	—
4. Pesado				
a) Bien nivel.	60	65	50	60
b) Nivel. insuf.	40-50	55	45	—
c) Quebrado	—	35-45	30	—

Tabla 5
Eficiencias de riego por aspersión
(Según Manual Ames 1962)

Lámina de agua aplicada	Uso consuntivo máximo en mm/día			
	5 mm o menos	5-7,5 mm	7,5 mm o más	Velocidad del viento promedio 6,4 kph
25	68	65	62	
50	70	68	65	
100	75	70	68	
125	80	75	70	
	Velocidad del viento promedio 6,4 — 16 kph			
25	65	62	60	
50	68	65	62	
100	70	68	65	
125	75	70	68	
	Velocidad del viento promedio 16-24 kph			
25	62	60	58	
50	65	62	60	
100	68	65	62	
125	70	68	65	

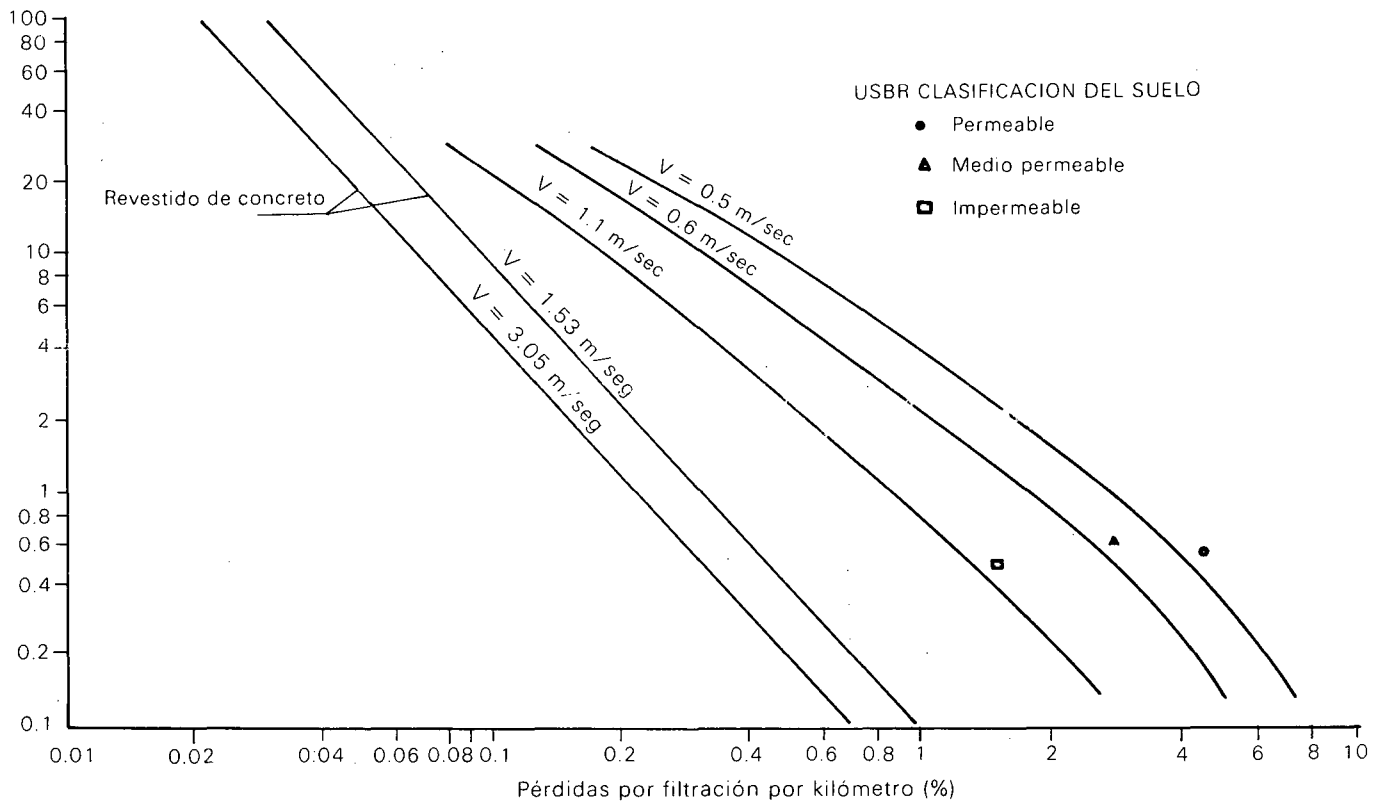


FIGURA 2. Pérdidas de agua en canales.

NL: Necesidades de lavado.

CE: Conductividad eléctrica del agua de riego.

CE_d: Conductividad eléctrica del agua de drenaje.

Si el agua aplicada como consecuencia del método de riego es igual o mayor que **NL** no se debe considerar. Si es menor, debe aplicarse el complemento. En riego superficial, las pérdidas de agua se distribuyen entre percolación y escurrimiento. En aspersión las pérdidas están constituidas principalmente por percolación y evaporación. En estos casos debe hacerse una estimación de las fracciones correspondientes a cada caso. En goteo, aun cuando la eficiencia es cerca del 100%, debe añadirse la fracción correspondiente a **NL**. En este caso la lámina de riego se calcula:

$$dr = U_c / (1 - NL)$$

Cuando se considere la recuperación de suelos salinizados mediante la aplicación de lavados, la lámina de lavado puede estimarse por:

$$dL/D$$

dL: Lámina de lavado.

D: Espesor del suelo a lavar.

CE: Conductividad eléctrica inicial.

CE_f: Conductividad eléctrica final.

CALCULO DE UN EJEMPLO

Estimar las demandas de riego para el C.A.

Marengo, para el primer semestre del año

Localidad: C. A. Marengo, Universidad Nacional, Mosquera C/marca.

Latitud: 4° 37' N

Altura: 2.650 ms.

Cultivos:

1. Papa, variedad San Jorge.

Superficie sembrada: 20 Has.

Fecha de siembra: febrero 5.

Fecha de recolección: julio 10. (Estimada a partir del ciclo vegetativo).

2. Cebada, variedad Mochacá.

Superficie sembrada: 20 Has.

Fecha de siembra: febrero 20.

fecha de recolección: julio 10.

3. Pastos (kikuyo).

Superficie: 25 Has.

Perenne.

Sistema de riego: por aspersión convencional, se estima una eficiencia del proyecto del 70%.

Existen problemas de sales en los lotes 3, 4, 5 y 6 pero se espera hacer uso de la estación lluviosa para hacer los lavados correspondientes, tan pronto se haya mejorado el sistema de drenaje.

El suelo es limo arcilloso, con una profundidad de más de un metro.

Se riega con aguas del distrito "La Ramada" operado por C.A.R. con un contenido salino con clasificación C2.

Tabla 6
Precipitación mensual en la estación meteorológica Tibaitatá

Año	E	F	M	A	M	J
1955	6.5	30.0	50.2	120.5	26.8	54.2
1956	14.3	32.5	14.5	73.9	61.0	35.1
1957	2.9	1.0	24.8	90.8	81.5	34.0
1958	8.6	25.5	39.9	65.9	27.2	13.5
1959	5.2	9.3	54.1	72.1	51.7	113.0
1960	17.8	50.2	27.7	55.6	61.5	19.3
1961	22.7	5.8	55.9	95.7	32.1	63.6
1962	34.7	15.4	68.2	110.4	120.0	94.2
1963	15.2	69.9	41.6	82.8	89.8	32.3
1964	6.3	5.8	36.1	119.7	47.4	95.6
1965	11.4	23.0	13.3	186.5	34.6	76.4
1966	0.4	17.3	41.1	42.5	50.0	86.2
1967	16.1	29.3	23.4	61.2	93.6	86.0
1968	7.2	40.1	28.1	88.8	37.0	115.4
1969	53.6	33.8	19.3	132.4	49.4	52.8
1970	49.9	66.7	9.0	44.5	102.2	53.2
1971	22.1	41.9	95.0	59.9	108.7	73.1
1972	57.6	40.4	51.7	99.8	90.8	63.8
1973	2.6	1.2	49.6	34.8	48.5	55.7
1974	71.4	54.9	51.3	82.2	55.2	32.4
1975	5.2	73.4	93.2	25.5	108.7	60.2
J	A	S	O	N	D	Total
56.8	26.5	34.5	107.7	79.0	42.3	635.0
7.4	10.7	72.5	132.7	35.9	34.8	525.3
28.1	26.0	39.8	119.2	45.0	10.8	503.9
1.0	41.1	11.2	59.5	89.8	40.7	423.9
66.0	38.7	22.4	91.8	41.3	17.9	583.5
73.0	40.6	62.3	111.5	29.3	78.5	627.7
40.1	23.7	16.5	152.0	114.9	30.3	653.3
33.9	41.3	36.6	73.5	110.1	40.2	778.5
22.9	37.3	18.8	87.2	80.3	13.3	591.4
78.7	37.1	37.6	55.8	104.6	9.4	634.1
26.0	22.1	8.6	91.5	112.7	37.6	648.7
43.9	58.7	38.6	94.9	119.8	68.4	661.8
40.5	21.7	56.4	96.9	85.8	53.4	664.3
23.2	18.4	101.5	125.4	78.0	20.6	683.7
6.3	33.2	92.4	140.2	49.8	29.8	693.0
48.0	42.3	82.9	135.9	54.5	27.2	716.3
28.9	34.2	57.2	75.6	33.2	34.2	664.0
30.0	32.5	15.9	79.2	106.0	25.4	693.1
52.2	59.8	104.5	85.2	97.4	65.9	657.4
14.1	33.6	87.8	65.3	140.4	4.8	693.4
28.8	59.6	56.5	119.5	69.5	49.6	749.7

Tabla 7
Análisis de frecuencia de datos de precipitación anual en Tibaitatá

m	P	F = (N ^m + 1)	LogP(x)	x ²
1	423.9	4.5%	2.627	6.902
2	503.9	9.1%	2.702	7.303
3	525.3	13.6%	2.720	7.401
4	583.5	18.2%	2.766	7.621
5	591.4	22.7%	2.772	7.683
6	627.7	27.3%	2.798	7.827
7	634.1	31.8%	2.802	7.852
8	635.0	36.4%	2.803	7.856
9	648.7	40.9%	2.812	7.908
10	653.3	45.4%	2.815	7.925
11	657.4	50.0%	2.818	7.940
12	661.8	54.5%	2.821	7.956
13	664.0	59.1%	2.822	7.965
14	664.3	63.6%	2.822	7.965
15	683.7	68.2%	2.835	8.035
16	693.0	72.7%	2.841	8.070
17	693.1	77.3%	2.841	8.070
18	693.4	81.8%	2.841	8.070
19	716.3	86.4%	2.855	8.152
20	749.7	90.9%	2.875	8.265
21	778.5	95.4%	2.891	8.359
Suma			58.879	165.157

Tabla 8
Información climatológica

Estación Tibaitatá (4° 37' N; 74° 15' W) Elevación: 2.650 m.

Mes	Temp. °C	Hum. Rel. (%)	Veloc. kph.	V. Veloc. kph.	Brillo solar
Enero	12.9	82	6.0	4.0	45
Febrero	12.9	81	6.4	4.2	40
Marzo	13.0	82	7.7	5.1	40
Abril	13.4	83	4.3	2.8	35
Mayo	13.5	82	5.1	3.4	33
Junio	13.2	82	5.6	3.7	34
Julio	13.5	78	7.8	4.2	41

FIGURA 3. Precipitación esperada en Tibaitatá

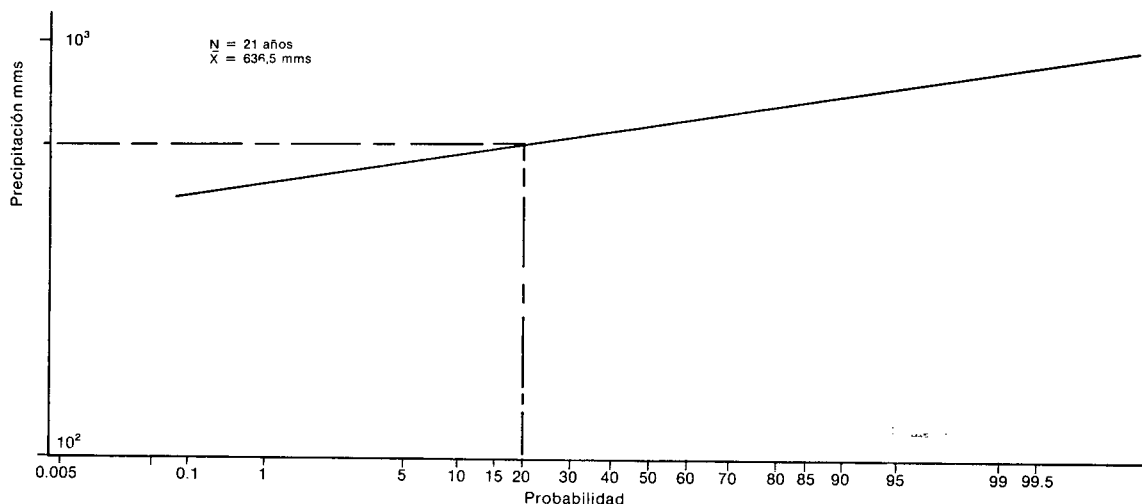


Tabla 9

Estimación de la evaporación del tanque clase "A" a partir de la fórmula de Christiansen
 $E' = 0.459R_t C_t C_w C_{hr} C_{bs} C_e$

Mes	R_t	C_t	C_{hr}	C_{bs}	C_w	C_e	E'
Enero	15.00	0.745	0.77	0.80	1.00	1.2	3.8
Febrero	15.00	0.745	0.780	0.80	1.05	1.2	4.0
Marzo	15.60	0.777	0.771	0.77	1.07	1.2	4.2
Abril	15.60	0.789	0.760	0.75	0.91	1.2	3.5
Mayo	15.10	0.789	0.770	0.76	0.96	1.2	3.7
Junio	14.7	0.783	0.770	0.75	0.98	1.2	3.5
Julio	14.9	0.789	0.820	0.78	1.08	1.2	4.6

Tabla 10

Estimación del uso consuntivo de papa.
 $U_c = K * E'$

Mes o período	Mitad período	Nº de días	% del C.V.	K	E' día	U_c' día	U_c' mes
Feb. 5	Feb. 17	13	8	0.32	4.0	1.3	30
Feb. 28	Mar. 16	39	25	0.55	4.2	2.3	71
Marz. 31	Abr. 15	69	45	0.85	3.5	3.0	90
Abr. 30	Mayo 16	99	64	0.95	3.7	3.4	105
Mayo 31	Jun. 15	130	84	0.94	3.5	3.4	102
Jun. 30	Jul. 5	150	97	0.90	4.6	4.1	41
Jul. 10		155	100				439

Tabla 11

Estimación del uso consuntivo de cebada

Mes o período	Mitad período	Nº de días	% del C.V.	K	E'	U_c' día	U_c' mes
Feb. 20	Feb. 24	4	3	0.15	4.0	0.6	5
Feb. 28	Mar. 16	24	17	0.23	4.2	1.0	31
Mar. 31	Abr. 15	54	39	0.40	3.5	1.4	42
Abr. 30	Mayo 16	85	61	0.75	3.7	2.8	87
Mayo 31	Jun. 15	115	82	0.90	3.5	3.2	96
Jun. 30	Jul. 5	135	96	0.66	4.6	3.0	30
Jul. 10		140	100				291

Tabla 12
Estimación del uso consuntivo para pasto

Mes	K	E'	Uc/día	Uc/mes
Enero	1.0	3.0	3.0	93
Febrero	1.0	4.0	4.0	112
Marzo	1.0	4.2	4.2	130
Abril	1.0	3.5	3.5	105
Mayo	1.0	3.7	3.7	115
Junio	1.0	3.5	3.5	105
Julio	1.0	4.6	4.6	142

Tabla 13
Uso consuntivo ponderado para C.A. Marengo

$$U_c = U_{cP} \cdot 20/65 + U_{cC} \cdot 20/65 + U_{cP} \cdot 25/65$$

Mes	UcP	UcC	UcP	Uc
Enero	—	—	93	35
Febrero	30	5	112	54
Marzo	71	31	130	81
Abril	90	42	105	80
Mayo	105	87	115	103
Junio	102	96	105	102
Julio	41	30	142	76

Tabla 14
Demandas de riego para el C.A. Marengo

Mes	Precip. Prom. P = 50%	Precip. esperad. P = 20%	Precip. efectiva P = 20%	Requer. riego U _c - P _e	Deman- de riego 10 ³ ms ³
Enero	20.6	18.3	10	25	23.2
Febrero	31.8	28.2	18	36	33.4
Marzo	42.5	37.7	26	55	51.1
Abril	83.1	73.8	48	32	29.7
Mayo	65.6	58.2	40	63	58.5
Junio	62.3	55.4	38	64	59.4
Julio	35.7	31.7	21	55	51.1

* No se considera necesidad de lavado puesto que la percolación con una eficiencia del 70% es mayor que NL.

BIBLIOGRAFIA

Grassi, Carlos J. 1967. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

Grassi, Carlos J. 1967. Manual de Drenaje Agrícola. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

Hargreaves, George H. 1966. Consumptive use Computations from evaporation pan data. U. S. Agency for International Development

Bogotá, Colombia.

Keller, J., and A. W. MacCulloch. 1962. Ames Irrigation Handbook. W. R. Ames Company. Milpitas, California.

U.S.D.A. Soil Conservation Service. 1967. Irrigation Water Requirements. Technical Release. S. C. S. engineering Division, Washington, U.S.A.