



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

MÓDULO II

2. Diseño agronómico

- 2.1 Determinación del coeficiente de uniformidad.
- 2.2 Necesidad de agua de los cultivos.
- 2.3 Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
- 2.4 Necesidades de agua de los cultivos.
- 2.5 Precipitación del sistema de riego.
- 2.6 Granulometría en el almacenamiento de agua.



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

2. Diseño agronómico

El diseño agronómico orienta la determinación de las necesidades hídricas del cultivo, calculando la cantidad de agua que necesita, para su normal desarrollo, sin ocasionar un déficit de agua en el suelo y estrés hídrico en la planta; estando estas necesidades hídricas, influenciadas por factores edafológicos (suelo), meteorológicos (clima) y otros propios del cultivo (genéticos y fisiológicos).

Para lo anterior, es menester determinar la uniformidad de aplicación del sistema de riego en una instalación ya realizada o determinar una conveniente uniformidad de aplicación, para una nueva instalación.

Asimismo, determinar de acuerdo al estado fenológico del cultivo, el número de emisores por planta y el espacio entre ellos; es así, en el cultivo de frutales, la dosificación del agua puede aplicarse a nivel de dos goteros; luego con cuatro goteros; esta determinación, de acuerdo al cálculo de necesidades de la planta, localización y distanciamiento de emisores y tolerancia de caudales, siempre cotejando los costos de su implicancia.

Por otra parte, es necesario determinar la cantidad de agua o dosis que se debe aplicar a nivel de cultivo, distribuidos de acuerdo al estado fenológico de la planta, genética y fisiológica; en relación al suelo, clima, calidad del agua de riego.

Es importante también, determinar los días deben transcurrir entre un riego y otro; es decir el tiempo máximo en día o su frecuencia; aun cuando existe la práctica, de riego de alta frecuencia o riego diario, que compensa el consumo de la evapotranspiración diaria del cultivo; y por otro lado, la práctica del riego complementario o de umbral hídrico; es decir, no se consume todo el agua almacenada en el suelo; sino se reemplaza, el agua consumida en el porcentaje, determinado por el umbral hídrico; es decir se riega sólo, hasta el límite del agua consumida.

Finalmente, es necesario disponer el número de horas de riego por unidad superficial o sub unidad superficial de riego, a fin de utilizar el sistema de riego, el mayor número de horas disponible por día.



2.1. Determinación del coeficiente de uniformidad - CU

Evaluación del funcionamiento de las instalaciones

Una vez definido e instalado el sistema, es necesario realizar la evaluación del funcionamiento de las instalaciones nuevas para tomar las medidas correctivas y realizar las evaluaciones (ex-ante) para la nueva instalación; así como para las que ya vienen funcionando hace algún tiempo (ex-post).

Utilizando para los casos anteriores, el **Coeficiente de Uniformidad (CU)**, relacionando el (100%) del universo de muestra tomadas, con el 25% de las muestras, que no funcionan correctamente; cuyo resultado del CU, debe ser superior al 90% y también relacionándolo, con el Coeficiente de Variación (CV), dado por el fabricante, a fin de determinar la tolerancia de presiones en el diseño hidráulico.

Uniformidad de riego

El Coeficiente de Uniformidad (CU), indica el grado en el cual, el sistema de riego viene funcionando en la aplicación del agua a través de los difusores o goteros; asimismo, indica el grado de funcionamiento, con el cual debe operar un sistema nuevo por instalarse; Para ello, a nivel de una muestra por ejemplo de 16 goteros, se relaciona, el 25% de los goteros que aportan menos caudal, con el total del 100% de la muestra.

$$CU = q_{25\%} / q_{100\%}$$

$q_{25\%}$ = Caudal promedio del 25 % de goteros cuyos caudales son los más bajos.

$q_{100\%}$ = Caudal promedio de todos los goteros evaluados en la muestra.

Utilización

- Evaluar una instalación existente para aplicar correctivos.
- Diseñar una nueva instalación para determinar un CU deseado, ($CU \geq 0.90$).

En el diseño agronómico

Para calcular:

Lámina de Riego Total: $NT = Nn / [(1-k) \times CU]$.

Que incrementa las necesidades de agua para compensar al 25% de los goteros que descargan menos agua en un 25 % de todos los goteros o un adicional para lavado de sales.

Tabla 18.

Evaluación de cintas de goteo por metro lineal en una subunidad de riego.

EVALUACION DE CINTAS DE GOTEO POR METRO LINEAL EN UNA SUBUNIDAD DE RIEGO												
1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	181
2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	182
3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183
4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	184
5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	185
6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	186
7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	187
8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	188
9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	189
10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	190
11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	191
12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	192
13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193
14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	194
15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195



Figura 43. Estimación del coeficiente de uniformidad en el riego por goteo.

Tabla 19.

Evaluación – Coeficientes de uniformidad de cintas de goteo por metro lineal.

EVALUACION - COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD DE CINTAS DE GOTEO POR METRO LINEAL				
N° Cinta de goteo Por metro lineal	Caudal /5 minutos c.c.	Caudal Lts/hr/m	=DESVEST.M(d8:d23) (DE)	
		12		0.07
1	160	1.92	Valores más bajos (25%)	1.80
5	160	1.92		1.80
10	155	1.86		1.81
15	155	1.86		1.81
61	160	1.92		
65	160	1.92	Promedio goteros más bajos (q25)	1.81
70	155	1.86		
75	155	1.86		
121	165	1.98	Promedio muestra (q100)	1.88
125	165	1.98		
130	164	1.97		
135	150	1.80	Coeficiente Uniformidad C.U. =(q25/q100)	0.96
181	150	1.80		
185	151	1.81		
190	151	1.81	Coeficiente de Variación C.V. = (DE/q100)	0.03
195	153	1.84		
Promedio muestra (q100)		157	1.88	Lts/hr/m
DE=DESVEST.M(d8:d23)		0.06307614		Fecha:

Uso del CU en el diseño agronómico

Para calcular las necesidades netas totales en función de la lámina neta (LN), incrementadas por las deficiencias en la aplicación del sistema de riego o por problemas de sales en el campo.

Lámina de Riego Total: (LRT) = LN / [(1-k) x CU]

Que incrementa las necesidades de agua para compensar al 25% de los goteros que descargan menos agua en el 25 % de todos los goteros.



Coefficiente de Uniformidad	CU	0.90
Eficiencia de Aplicación	Ea	0.90
Factor de Lavado de Sales	NL	0.10
K =	$(1-Ea)$	0.10
K =	NL	0.02
Mayor Valor de K Elegido	K	0.10
(1-K) x CU	$(1-K) \times CU$	0.81

Elección del Máximo valor de K

Conductividad eléctrica del agua de riego en Milimhos: $0 \text{ dS/m} = 0.55$
 Conductividad eléctrica del extracto del suelo saturado en Milimhos: $0 \text{ dS/m} = 11.64$
 Coeficiente de lavado de sales: $K = 0.55 / (2 \times 11.64) = 0,024$ (menor)
 Coeficiente de aplicación del sistema de riego por goteo: $(1-Ea) = (1-0.9)$, $K = 0.10$ (mayor escogido)
 Fracción Necesidad Lavado = $1 / (1-K) \times CU = 1 / (1-0.10) \times 0.90$: **Fnl = 1.23**

Por consiguiente, la Lámina de Riego Total = Lámina Neta de Riego x 1.23

Si la Lámina Neta de Riego es 3 mm/día; por necesidad de lavado de sales, se incrementará a:

Lámina de Riego Total = 3 mm/día x 1.23 = 3.69 mm/día.

2.2 Necesidad de agua de los cultivos

Las necesidades de agua de los cultivos constituyen la base fundamental para efectuar el diseño hidráulico, estableciendo los requerimientos volumétricos o láminas de agua para los cultivos, determinando la frecuencia y las horas de riego; todo ello, en función al estado fenológico de las plantas y tipología de los suelos, en su capacidad de almacenaje de agua ;relacionados con las características de calidad del agua y de los factores medioambientales, tales como el clima que influye en las operaciones del sistema de riego y en el diseño de la infraestructura de riego; y finalmente, su influencia en la productividad y rentabilidad de los cultivos.

Necesidades de agua de los cultivos

Es imprescindible determinar las necesidades máximas de agua de los cultivos, en función a las condiciones antes expresadas y a otros parámetros determinados experimentalmente, considerando el agua consumida y transpirada por la planta, en función a la evaporación del agua del suelo, el aporte de agua por las precipitaciones y

otros estados de la existencia de agua en el suelo; además, de los requerimientos de lavado de suelos salinos.

Necesidades totales de riego

Está determinado por los parámetros siguientes:

- ETo Evapotranspiración potencial o referencial.
- Kc Coeficiente del cultivo.
- Kl Coeficiente de localización del área mojada.
- Kcl Coeficiente de variación climática.
- Kad Coeficiente de advección (efecto de sábana tendida).
- Pe Precipitación efectiva.
- Ac Agua capilar (Napa freática).
- Aa Agua almacenada en el suelo.
- CU Coeficiente de uniformidad del riego.
- LR Lámina total de riego.

$$LR = ((ETo * Kc) (Kl * Kc * Kad * - (Pe + Ac + Aa)) / (1 - K) * CU.$$

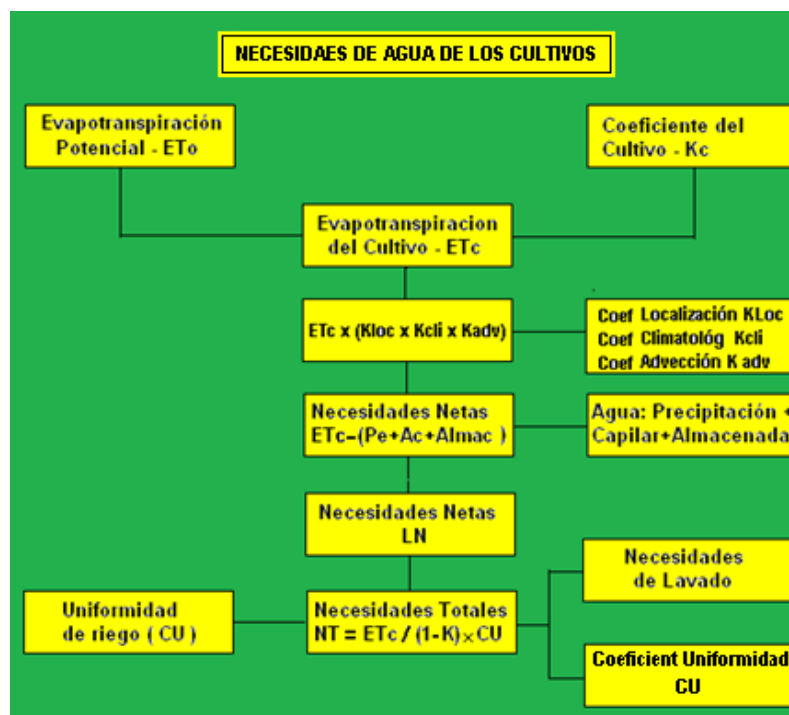


Figura 44. Cálculo de la demanda de agua.

Tabla 20.

Necesidades totales de riego.

NECESIDADES TOTALES DE RIEGO			
CULTIVO	Parámetro	QUI	CHI
Evapotranspiración potencial	ET _o	2.68	3.78
Coeficiente del cultivo	K _c	0.8	1
Evapotranspiración del cultivo	ET_c	2.14	3.78
Coeficiente de localización	(*) K _{loc}	0.86	0.68
Coeficiente de variación climática	(*) K _{clim}	1.2	1.2
Coeficiente de advección	(*) K _{advec}	0.9	0.95
N _n = Etc*Kloc*Kclim*Kadvec*			
Necesidades netas	N_n	1.99	2.93
Precipitación efectiva	(-) Pe	0	0
Agua capilar (napa freática)	(-) Ac	0	0
Agua almacenada en el suelo	(-) Aa	0	0
(-) Sumatoria aportes: Pe, Ac, Aa		0	0
Necesidades netas	LR	1.99	2.93
Coeficiente de Uniformidad	CU	0.90	0.90
Eficiencia de Aplicación	E _a	0.90	0.90
Factor Necesidades Lavado Sales	NL	0.10	0.10
K (Efic aplic)=	(1-E _a)	0.10	0.10
K (lav)=	NL	0.24	0.10
Mayor Valor de K Elegido	K	0.24	0.10
(1-K) x CU	(1-K)xCU	0.68	0.81
Necesidad Total de Riego (mm/día)	LR / (1-K)*CU	2.91	3.62
Caudal Gotero: (Qg)	Lt / hr	0.5	
Espacio entre plantas-goteros: (sg)	m	0.2	
Espacio entre laterales: (sl)	m	1.5	
Precipitación: PP(mm/hr)	mm/hr	1.667	
Área sombreada / árbol: (m²)			20
Precipitación Litros/día/árbol = ((LR/(1-K)*CU)* Área sombreada (m²))			72

Métodos para la determinación de la evapotranspiración potencial

Método de la cubeta Evaporímetro Clase "A".

Método de Blaney & Criddle.

Método de Penman.



Figura 45. Cubeta Evaporímetro Clase "A".

Tabla 21.

Cálculo de la evapotranspiración referencial para un mes – Método Blaney – Criddle.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REFERENCIA PARA UN MES METODO BLANEY - CRIDDLE		
Datos	Promedio	
	Mensual	Diaria
Suma Mensual Temperaturas Máximas C°	990.7	33.02
Suma Mensual Temperaturas Mínimas C°	677.2	22.57
Temperatura Media Duaria C° = t		27.80
Latitud Norte	40°	(heliógrafo)
Humedad relativa media mínima	30%	
Insolación fuerte horas diarias reales n =	12.5	
Máxima Horas de Fuerte Insolación N =	15	
Vientos diurnos moderados (Km/día) =	125-426	
Horas luz /día, del total anual (Tanto/uno) p =	0.34	
Factor Laney-Criddle: f =	= p (0,46 * t + 8,13)	
	f =	7.11 mm
Datos para Predicción de Eto en el Gráfico II		
Cálculo relación n/N =	0.83	
Humedad relativa media mínima (HR mín Media)	30%	
	f =	7.11 mm
Vientos diurnos moderados (Km/día) =	125-425	
Evapotranspiración Referencial ETo =	9.2 mm	

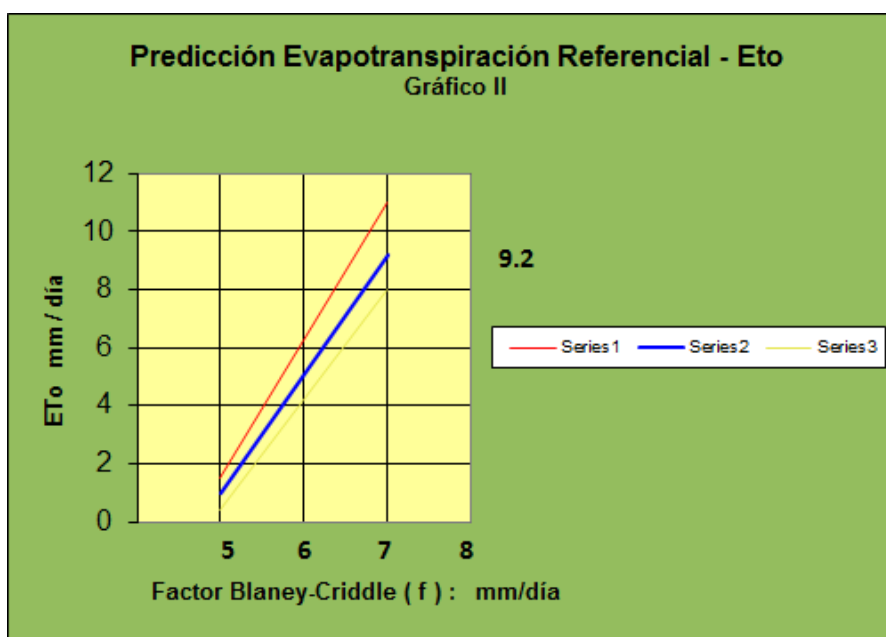




Figura 46. Predicción evapotranspiración Referencial – Eto.



Porcentaje de humedad del suelo basado en datos de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente, solicitados al laboratorio de análisis de suelos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION


Solicitante : FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Departamento : LIMA Provincia : LIMA
 Distrito : LA MOLINA Predio : INIA
 Referencia : H.R. 38294-086C-12 Fecha : 11/12/12

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab.	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
17295	Lote 14	7.25	1.29	0.00	1.31	7.5	244	49	32	19	Fr.	11.20	9.10	1.42	0.61	0.07	0.00	11.20	11.20	100

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca , Fr A = Franco Arenoso , Fr = Franco , Fr L = Franco Limoso , L = Limoso , Fr Ar A = Franco Arcillo Arenoso , Fr Ar = Franco Arcilloso , Fr Ar L = Franco Arcillo Limoso , Ar A = Arcillo Arenoso , Ar L = Arcillo Limoso , Ar = Arcilloso

Número de Muestra		D.A. (g/cm ³)	C.C. %	P.M. %
Lab.	Claves			
17295	Lote 14	1.72	20.40	11.23



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Calle 100 - 100, Ciudad Universitaria, Lima - Perú. Telf.: 614 7800 Anexo 200 Telf. Fax: 614 6622 e-mail: labueld@lamolina.edu.pe

Cálculo del porcentaje del volumen de agua retenida en el suelo

Volumen de agua en el suelo: (CC - PMP) x Da

Capacidad de campo = 20.40%

Punto de marchitez = 11.23%

Densidad aparente suelo = 1.72 g /cc

Volumen de agua en el suelo: (20.4 – 11.2) x 1.72 = 16 %.

Volumen de suelo mojado por hectárea

Longitud del lateral (cinta goteo) = 100 m

Distanciamiento entre laterales = 1.50 m

Numero de laterales / ha = (100 / 1.5) = 66 Laterales

Ancho de humedecimiento = 0.50 m

Profundidad efectiva de raíz = 0.30 m

Volumen de suelo mojado / ha = 66 Lats x100 m x 0.50m x 0.30

	= 990 m ³ /ha
Retención de agua en el suelo	= 16%
Volumen agua almacenada/ha	= 990 m³ x 16%
	= 158 m ³
Volumen agua almacenada - milímetros	=15.8 mm



Figura 47. Sección y franja de humedecimiento.

Precipitación de cintas de goteo por hora

Caudal del gotero	= 0.5 Lts/hora
Distancia entre laterales (cintas)	= 1.50 m
Distancia entre goteros	= 0.20 m
Precipitación (mm /hr)	= (0.5 Lts/hora) / (1.50m x 0.20 m)
	= 1.66 mm / hora
	= (16. 6 m ³ / hora)

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 / \text{ha} = 1 \text{ Lt} / \text{m}^2$$



Figura 48. Sección de humedecimiento.



Figura 49. Volumen de suelo a humedecer por hectárea a 0.30 m de profundidad.



Figura 50. Lisímetro de drenaje libre.

Máximo de coeficiente del cultivo (K_c)

$$K_c = \frac{\text{Evapotranspiración del Cultivo (Lisímetro)}}{\text{Evapotranspiración Referencia (Penman)}}$$

$$K_c = E_{Tc} / E_{To}$$

$$K_c = (3.40 \text{ mm/día}) / (3.78 \text{ mm/día})$$

$$K_c = 0.90$$

Tabla 22.

Coeficiente (Kc) del cultivo y desarrollo vegetativo.

(Kc) COEFICIENTE DEL CULTIVO Y DESARROLLO VEGETATIVO										
CULTIVO	INICIO		CRECIMIENTO		DESARROLLO		MADUREZ FISIOLÓGICA		MADUREZ	
	A alfalfa	0.30	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Avena	0.30	0.40	0.70	0.80	1.00	1.15	0.60	0.70	0.20	0.25
Trigo	0.30	0.40	0.70	0.80	1.00	1.15	0.60	0.70	0.20	0.25
Remolacha	0.25	0.40	0.60	0.70	0.90	1.10	0.90	1.10	0.80	0.90
Papa	0.40	0.50	0.70	0.80	1.00	1.20	0.95	1.00	0.65	0.75
Tabaco	0.30	0.40	0.70	0.90	1.00	1.20	0.90	1.00	0.75	0.85
Melz	0.30	0.50	0.70	0.85	1.00	1.20	0.80	0.95	0.50	0.60
Frijol verde	0.30	0.40	0.65	0.75	0.95	1.05	0.90	0.95	0.85	0.95
Frijol grano	0.30	0.40	0.70	0.80	1.05	1.20	0.65	0.75	0.25	0.30
Vid	0.30	0.50	0.60	0.80	0.80	0.90	0.60	0.80	0.50	0.70
Frutal caducifolios	0.40	0.50	0.75	0.85	1.10	1.20	1.10	1.20	0.70	0.90
Citricos	0.60	0.70	0.60	0.70	0.80	0.90	0.80	0.90	0.60	0.70
QUINUA	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.90	0.80	0.80	0.70	0.80
Frutal siempre verde	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aveja verde	0.40	0.50	0.70	0.85	1.05	1.20	1.00	1.15	0.95	1.05
Pimentón	0.30	0.40	0.60	0.75	0.95	1.10	0.95	1.10	0.80	0.90
Cebolla	0.40	0.50	0.60	0.80	0.95	1.15	0.80	1.00	0.70	0.80
Cebolla verde	0.40	0.50	0.60	0.75	0.95	1.10	0.95	1.10	0.95	1.10
Tomate	0.30	0.40	0.60	0.80	1.10	1.25	0.80	1.00	0.60	0.80
Banda	0.40	0.50	0.70	0.80	0.95	1.05	0.80	0.95	0.65	0.75
Melón	0.40	0.50	0.60	0.75	0.95	1.05	0.70	0.80	0.60	0.70
Zapallo	0.40	0.50	0.60	0.75	0.95	1.05	0.70	0.80	0.60	0.70
Hortalizas	0.30	0.40	0.60	0.75	0.90	1.10	0.90	1.10	0.80	0.90

Cálculo lámina de riego almacenada (mm / día)

Coeficiente (kc) máximo quinua	=	0.90
Evapotranspiración potencial (ET _o)	=	3.78
Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	=	0.90 x 3.78
(ET _c)	=	3.4 mm/día
Volumen agua almacenada en el suelo/ha	=	15.8 mm
Frecuencia de riego (Días)	=	15.8 mm / (3.4 mm/día)
	=	4.65 días

Factor o fracción de agotamiento

Por seguridad y mayor eficiencia, no se debe consumir toda el agua almacenada; sino estar cerca de la capacidad de campo, por lo que es necesario volver a regar, antes del agotamiento total.

Por ejemplo, consumiendo un 40%:

$$= 40 \% * 4.65 = 1.86 \text{ (2 días).}$$

Que en este caso el consumo es:

$$= 3.4 \text{ mm/día} \times 2 \text{ días.}$$

Volver a regar cada 2 días con un volumen de

$$= 6.8 \text{ mm (68 m}^3\text{).}$$



Figura 51. Medida de la presión del lateral.

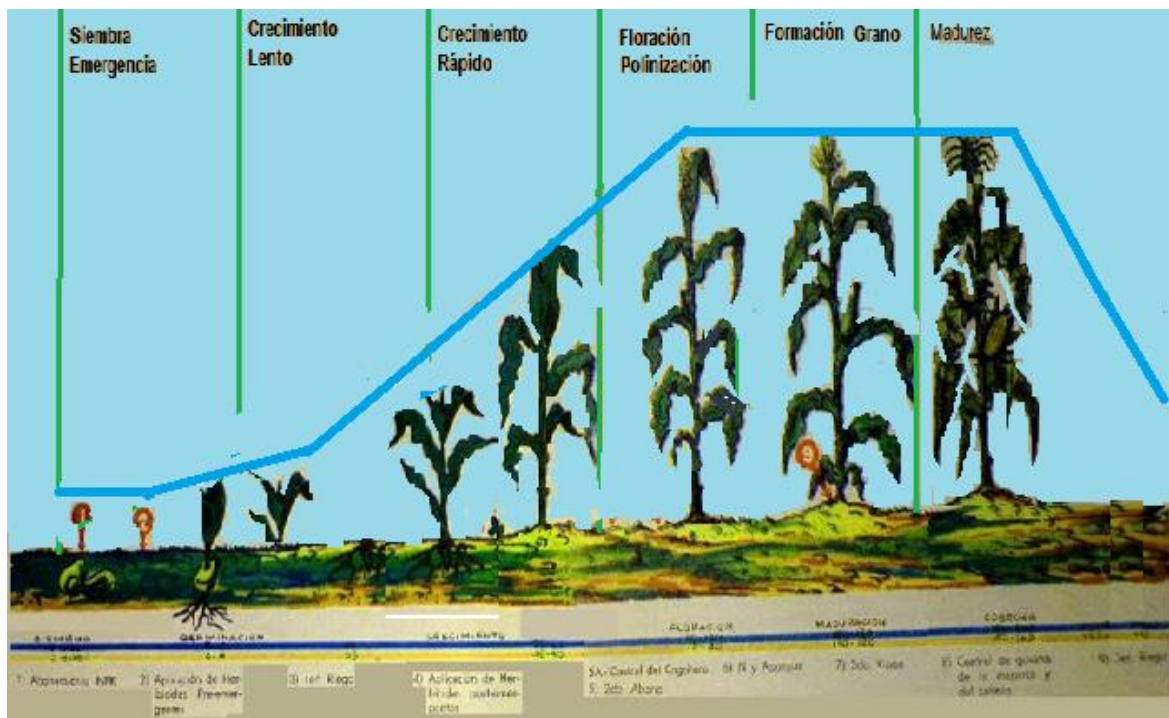


Figura 52. Desarrollo del cultivo de maíz, de acuerdo al estado fenológico.

Determinación del coeficiente (Kc) del cultivo

La relación entre la Evapotranspiración del Cultivo y la Evapotranspiración Potencial determinan el coeficiente (Kc) del cultivo, de acuerdo a sus fases fenológicas en el desarrollo del cultivo.

Tabla 23.

Desarrollo del cultivo de capsicum de acuerdo a las fases fenológicas – (Kc).

			CAPSICUM	
Fases fenológicas del cultivo	Días	Kc	Meses	Kc
Emergencia	14	0.50	1	0.60
Crecimiento inicial	56	0.70	2	0.70
Crecimiento rápido	28	1.00	3	0.90
Desarrollo	28	0.95	4	1.00
Maduración	56	0.70	5	0.70
Maduración final	28	0.60	6	0.60

Tabla 24.

Desarrollo del cultivo de quinua de acuerdo a las fases fenológicas – (Kc).

QUINUA	ROSADA INIA		PASANKALLA INIA	
Fases fenológicas del cultivo	Días	Kc	Días	Kc
Emergencia	21	0.40	21	0.3
Crecimiento inicial	21	0.60	14	0.45
Crecimiento rápido	21	0.65	14	0.8
Desarrollo	28	0.80	42	0.95
Maduración	21	0.60	14	0.85
Maduración	21	0.40		



Tabla 25.

Demanda de agua del cultivo de capsicum.

DEMANDA DE AGUA DE CAPSICUM POR MESES DEL AÑO												
Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Evap Tq (mm / día)	7.20	6.80	6.30	5.60	5.40	5.50	5.50	6.00	6.60	7.70	7.70	6.90
Factor corrección K de Cubeta	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
ETo (mm / día)	5.40	5.10	4.73	4.20	4.05	4.13	4.13	4.50	4.95	5.78	5.78	5.18
CULTIVO						CAPSICUM						
Kc del Cultivo						0.60	0.70	0.90	1.00	0.75	0.70	0.60
ETc (mm / día)						2.48	2.89	4.05	4.95	4.33	4.04	3.11

Determinación del coeficiente de localización (kl) de riego en el terreno

Debido a la reducción del área de riego por efecto del riego localizado, este coeficiente disminuye el área de la evapotranspiración que depende de la masa foliar, dificultando su cuantificación; por ello se ha considerado relacionarla con el porcentaje del área sombreada, respecto al marco de plantación.

Métodos propuestos:

Alljiburi $Kl = 1.34 \cdot A.$

Decroix $Kl = 0.1 + A.$

Hoara $Kl = A + 0.5 \cdot (1 - A).$

Keller $Kl = A + 0.15 \cdot (1 - A).$

CBV $Kl = A \cdot 0.90 + 0.20$ La última, representa el promedio de las 4 anteriores.

Ejemplo Kloc

Ejemplo: Marco de plantación de 5m * 4m

Diámetro círculo sombreado: 3.50 m

$$\begin{aligned} \text{Área Sombreada} &= \pi \cdot (D^2 / 4) = \\ &= 3.1416 \cdot (12.56 / 4) \\ &= 9.62 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Área del marco plantación} = 5 \times 4 = 20 \text{ m}^2$$



$$\% \text{ A. Sombreada} = 9.62 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2 = 0.48 * 100$$

Resultados K1 con área sombreado para palta 48 % y para paprika 70 %

	PALTA	PÁPRIKA
Alljiburi	K1 = 0.54	K1 = 0.94
Decroix	K1 = 0.58	K1 = 0.80
Moara	K1 = 0.74	K1 = 0.85
Keller	K1 = 0.56	K1 = 0.74
CBV	K1 = 0.63	K1 = 0.83
Promedio	0.63	0.83

ETc (Paprika) = 4.95 mm/día (Dato máximo).

Resultado: = 4.95 mm/día * 0.83 = 4.10 mm/día.

Determinación de variación climática (Kcl)

El Kcl es el coeficiente de variación climática y se utiliza para corregir los valores de promedios mensuales o de un periodo determinado, utilizados para los cálculos de la ETo.

Para riego localizado este valor se estila considerar entre 1.15 y 1.2.

4.10 mm/día * 1.20 = 4.92 mm/día.

Determinación del coeficiente de adveccion (Kad)

El Kad es el coeficiente por advección, el cual disminuye a la ETo, debido al efecto producido por un área de riego cada vez más grande que la limita.

Ejemplo:

Para nuestro caso suponemos un área de riego de 20 ha.

4.92 mm/día x 0.90 = 4.43 mm/día.



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Determinación de la precipitación efectiva, agua capilar y agua almacenada

Pe, es aporte de agua por la precipitación efectiva.

Ac, es aporte de agua capilar que se debe considerar en el caso que el nivel freático este próximo.

Aa, es aporte del agua almacenada que tampoco se considera, porque con los riegos de alta frecuencia, pretendemos reponer inmediatamente el agua extraída para no gastar energías en sustraer agua almacenada más allá de la lámina diaria.

Ejemplo:

Para nuestro ejemplo no tenemos aportes de agua provenientes de la precipitación, capilaridad ni por almacenamiento.

$$4.92 \text{ mm/día} - 0 - 0 - 0 = 4.92 \text{ mm/día.}$$

Determinación K

EL K es un coeficiente que dependerá de la eficiencia de aplicación (E_a) y de la cantidad de agua adicional de lavado de sales (LR). Debiendo de seleccionar, el que nos dé un mayor valor de K; la aplicación de este coeficiente, nos permitirá aumentar el valor de la E_{To} para garantizar una cantidad de agua para lavado por pérdidas de percolación profunda.

$$K = (1 - E_a).$$

$$K = LR.$$

E_a = eficiencia de aplicación (goteo 0.90; aspersión 0.70; gravedad 0.20).

LR = % de agua de lavado (depende de la conductividad eléctrica del agua de riego y del extracto de suelo saturado).

CE_r = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CE_s = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).



$$LR = CE_{ar} / 2CE_{es}$$

Determinación de (K)

Conductividad eléctrica del agua de riego: $CE_{ar} = 0.8 \text{ dS/m}$.

Conductividad eléctrica del extracto de saturación: $CE_{es} = 1.7 \text{ dS/m}$.

Lámina de lavado de sales (LR)

$$\text{Agua de lavado: } C_{Ear} / 2 C_{Ees} = 0.8 / (2 \cdot 1.7)$$

$$K(\text{lav}) = 0.24$$

Eficiencia de aplicación 90 %: ($E_a = 0.90$).

$$\text{Agua x pérdidas en aplicación: } (1 - E_a) = (1 - 0.90)$$

$$K(\text{apl}) = 0.10$$

Como el **agua de lavado** es superior a las **pérdidas por eficiencia de aplicación**, se escoge el valor mayor de **$K(\text{lav}) = 0.24$** ; entonces:

El porcentaje por lavado se reduce a: $(1.00 - 0.24) = 0.76$

El Coeficiente de Uniformidad, de una muestra de 16 goteros, es: $(CU) = 0.90$

Cálculo de la Lámina Total de Riego (Lr)

$$\text{Evapotranspiración potencial } E_{To} = 4.95$$

$$\text{Coeficiente de cultivo: } K_c = 1.00$$

$$\text{Coeficiente de uniformidad: } CU = 0.90$$

$$\text{Porcentaje agua de lavado: } LR = 0.76$$

$$\begin{aligned} Lr &= (E_{To} \cdot K_c) / ((1-LR) \cdot CU) \\ &= (4.95 \cdot 1.00) / ((1-0.24) \cdot 0.90) \\ &= 4.95 / (0.76 \cdot 0.90) = 4.95 / 0.684 \end{aligned}$$

$$Lr = 7.24 \text{ mm/día}$$

Cultivo de capsicum

$$E_{To} \quad \text{Evapotranspiración potencial} \quad = 4.95$$

$$K_c \quad \text{Coeficiente de cultivo} \quad = 1.0$$

$$E_a \quad \text{Eficiencia de aplicación} \quad = 90 \%$$

$$LR \quad \text{Porcentaje de agua de lavado} \quad = 10\% \text{ y con } 0 \%$$

$$Lr = (ETo * Kc) / ((1-LR) * CU)$$

$$Lr = (4.95 * 1.0) / ((1 - 0.24) * 0.90) = 6.11 \text{ mm/día (con sal).}$$

$$Lr = (4.95 * 1.0) / ((1 - 0) * 0.90) = 5.50 \text{ mm/día (sin sal).}$$

Tabla 26.

Necesidades de Agua de los Cultivos de Quinua y Chirimoya.

CULTIVO	Parámetro	QUI	CHI
Evapotranspiración potencial	ETo	2.68	3.78
Coeficiente del cultivo	Kc	0.80	1.00
Evapotranspiración del cultivo	ETc	2.14	3.78
Coeficiente de localización	(*) Kloc	0.86	0.68
Coeficiente de variación climática	(*) Kclim	1.20	1.20
Coeficiente de advección	(*) Kadvec	0.90	0.95
Necesidades netas	Nn	1.99	2.93
Precipitación efectiva	(-) Pe	0	0
Agua capilar (napa freática)	(-) Ac	0	0
Agua almacenada en el suelo	(-) Aa	0	0
(-) Sumatoria Pe, Ac, Aa		0	0
Necesidades netas totales	LR	1.99	2.93
Coeficiente de Uniformidad	CU	0.90	0.90
Eficiencia de Aplicación	Ea	0.90	0.90
Factor de Lavado de Sales	NL	0.10	0.10
K =	(1-Ea)	0.10	0.10
K =	NL	0.10	0.10
Mayor Valor de K Elegido	K	0.10	0.10
(1-K) x CU	(1-K)xCU	0.81	0.81
Caudal Gotero: (Qg) =	Lt / hr	0.50	4.00
Espacio entre plantas-goteros: (sg)	m	0.20	4.00
Espacio entre laterales: (sl)	m	1.50	5.00
Precipitación: PP(mm/hr)=	mm/hr	1.67	0.20

Cálculo de la lámina neta

Tabla 27.

Lámina de riego para el cultivo de capsicum.

Parámetros	Jun 30	Jul 31	Ago 31	Set 30	Oct 31	Nov 30	Dic 31
Ev Tq (mm / día)	5.50	5.50	6.00	6.60	7.70	7.70	6.90
Factor corrector K de Cubeta	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
ETo (mm / día)	4.13	4.13	4.50	4.95	5.78	5.78	5.18
CULTIVO	CAPSICUM						
Kc del Cultivo	0.60	0.70	0.90	1.00	0.75	0.70	0.60
ETc (mm / día)	2.48	2.89	4.05	4.95	4.33	4.04	3.11
Lavado sales	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Corrección por lavado	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ETA (mm / día)	2.75	3.21	4.50	5.50	4.81	4.49	3.45
ETA (mm / mes)	82.5	99.5	139.5	165.0	149.2	134.8	107.0
Efic. Aplicación (%)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Lámina de Riego (mm/día)	3.06	3.56	5.00	6.11	5.35	4.99	3.83
Módulo Riego (Lts / seg)	0.35	0.41	0.58	0.71	0.62	0.58	0.44

Caudales requeridos

Con los datos obtenidos podemos estimar las necesidades hídricas para una determinada área y tiempo de riego.

Para el diseño obtuvimos una **Lámina de 6.11 mm/día** (61100 Lts / (24*3600 seg)),y un **módulo de riego de 0.71 lit/seg/ha.**

Si se cuenta con una superficie de 11 ha y 12 horas de disponibilidad de agua; cuál es el Caudal requerido (Q).

Módulo por 12 horas = $0.71 \times (24 / 12) = 1.42$ l/s-ha.

Para 10 ha, el caudal Q requerido será = $10 * 1.42 = 14.20$ Lts/s.

El caudal para 10 ha y 8 horas de disponibilidad de agua, será el siguiente:

Módulo por 8 horas = $0.71 \times (24 / 8) = 2.13$ l/s-ha.

Para 10 ha, el Caudal Q requerido = $10 * 2.13 = 21.30$ Lts/s.

Cálculo de parámetros agronómicos

- Frecuencia.
- Dosis.
- Tiempo riego.
- Precipitación del sistema.
- N° de unidades o turnos de riego.
- Área de las unidades de riego.
- Caudal de diseño.



Figura 53. Lisímetro de drenaje libre.

Coeficiente K_c del Cultivo = Evapotranspiración del Cultivo / Evapotranspiración Potencial.

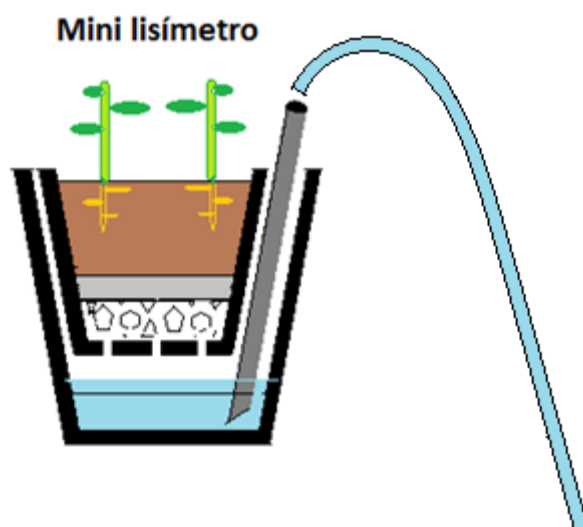


Figura 54. Minilímetro.



Frecuencia

La frecuencia de riego, es el intervalo de tiempo en días transcurridos que son necesarios para volver aplicar un riego.

En los riegos por goteo y micro aspersión de alta frecuencia, no existe un valor mínimo de intervalo de riego, el valor máximo del intervalo de riego, se calcula teniendo en cuenta; que la humedad del área mojada, no descienda, a un valor cercano al punto de marchitez.

Textura	Frecuencia (max)
Ligera	3 días
Media	5 días
Pesada	7 días

Frecuencia de riego (Goteo)

Área mojada / Área Total.

Frecuencia (max) = Dosis de riego almacenada (max) / Lámina riego.

Dosis de riego (max) = Lámina de agua aprovechable x % área mojada.

Resultados para:

Lámina de agua aprovechable = (CC-PM) * Da * Pr * % Ag.

% Área mojada

Se define como la relación entre el área mojada y el área total medidos a una profundidad de 30 cm.

% área mojada = Área mojada / Área total

% altos son más seguros, pero incrementan los costos de instalación por la mayor cantidad de goteros y mayores diámetros de las tuberías.



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Jack Keller recomienda:

En frutales el área mínima mojada para:

Clima húmedo es 20 %.

Clima árido es 33%.

En cultivos herbáceos este % es mayor llegando hasta 70 %.

Área mojada por emisor

Cálculo de área mojada.

Microaspersores.- El área o diámetro mojado en la superficie viene especificado en los catálogos y se asume este valor como el valor de área mojada; **este sistema es considerado como un riego localizado.**

Goteros.- En el caso de goteros es complicado dependiendo mucho de la textura, estratificación, caudal de gotero y tiempo de riego.

Nº de emisores

El número de emisores se calcula teniendo en cuenta que la suma del área mojada de todos los emisores en un árbol, debe ser superior al mínimo de área mojada impuesta.

$N^{\circ}e * Ae > A. total * \% A. mojado min.$

$N^{\circ}e > (A. total * \% A. mojado min) / Ae.$

El tiempo de riego sería = Dosis / ($N^{\circ}e * qe$).

$N^{\circ}e * =$ Número de emisores.

$\%A =$ Área mojada mínima.

$Ae =$ Área de un emisor.

$qe =$ Caudal de emisor Litros / hora.

Dosis = Litros / árbol.

Dosis de riego

Es la cantidad de agua por aplicar en un riego, la que será infiltrada y retenida por suelo, esta dosis es un múltiplo de la lámina de riego diaria y depende de la frecuencia de riego.



La dosis de riego puede ser:

Frecuencia	Dosis
01 día	1 * Lr
02 días	2 * Lr
03 días	3 * Lr

Dosis de riego (max) = Lámina aprovechable x % área mojada.

Lámina aprovechable = (CC-PM) * Da * Pr * % Agotamiento.

Tiempo de riego

Para calcular el tiempo de riego, se divide la dosis de agua diaria requerida para riego entre la precipitación de agua del sistema.

TR (hrs/día) = Dosis diaria de riego (mm/día) / Precipitación del sistema (mm/hr).
= m³/ha-día / m³/ha-hora.

Dosis diaria de agua de riego = Función de Lámina neta y la frecuencia de riego.

Precipitación / hora del sistema = Función del Caudal del gotero (Q) entre distancias entre goteros por Laterales.

Precipitación del sistema

Cantidad de agua entregada al campo en función de las características de caudal del gotero dividido entre el distanciamiento de los goteros o emisores por el distanciamiento entre laterales.

$P_p = (\text{Caudal del gotero (Litros/hora)}) / (\text{Distancias entre goteros (m)} \times \text{Distancia entre Laterales (m)})$.

Nº de unidades o turnos

Cantidad de unidades o sectores de riego, en que se puede dividir una parcela, relacionados con el número de turnos de riego por atender, durante un periodo de tiempo disponible.

Nº de Unidades de riego = Tiempo disponible por día / Tiempo de riego.



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Área o unidad atendida

Es la unidad que puede ser atendida por un turno de riego; para de esta manera, poder dividir la parcela en un número de unidades de igual área para ser regados en un turno.

Área Total / N° de turnos o unidades.

Caudal del sistema

Caudal necesario para regar una determinada extensión de terreno, en función a la Lámina de Riego y al tiempo disponible:

A = Superficie a regar.

LR = Lámina de riego.

T = Tiempo disponible para el riego.

Si se desea instalar un sistema de riego con cintas de goteo en un cultivo de capsicum y se cuenta con 13 horas disponibles de riego y el lateral de goteo integra emisores con un caudal $Q = 1 \text{ Lt / hr}$, con distanciamientos entre emisores a 0.20 m y entre laterales a 1.50 m.

La lámina de riego es de 6 mm/día y la frecuencia de riego es de un día, se puede calcular los parámetros agronómicos de riego:

Caudal necesario: $Q = (2.78 * A * LR) / T$.

Sistema de Riego: Con cintas de goteo.

Cultivo: Capsicum.

Tiempo disponible (T): 13 hrs.

Caudal del emisor: 1.0 Lt / hr.

Distancia emisores: 0.20 m.

Distancia laterales: 1.50 m.

LR = 6 mm/día.

Frecuencia de riego 1 día.

PP = Precipitación en mm/hr.

Frecuencia = Dosis de riego / Lámina Neta de riego.



Si la frecuencia de riego es 1 día; entonces la Dosis de Riego es igual a la Lámina Neta.

$$PP = \text{Caudal del emisor} / \text{Marco de Plantación} = 1.00 \text{ Lt/hr} / (0.20 \text{ m} * 1.50 \text{ m}).$$

$$PP = 1.00 / (0.20 \text{ m} * 1.50 \text{ m}) = 3.33 \text{ mm/ hr.}$$

$$\text{Tiempo de riego: } Tr = LR / PP = (6 \text{ mm/día}) / 3.33 \text{ mm / hr}$$

$$Tr = 1.80 \text{ hr / día}$$

$$\text{Superficie a regar } A = 14 \text{ ha}$$

$$\text{Lámina de Riego } LR = 6 \text{ mm/día}$$

$$\text{Tiempo disponible } Td = 13 \text{ hrs}$$

$$\text{Caudal necesario: } Qn = (2.78 * A * LR) / T$$

$$Qn = (2.78 * 14 * 6) / 13$$

$$Qn = 17.96 \text{ Lts/seg}$$

$$\text{Unidades de riego } UD = \text{Tiempo total} / \text{Tiempo de riego}$$

$$= 13 \text{ hrs} / 1.8 \text{ hrs} = 7.22 \text{ Unid}$$

$$\text{Área de Unidad} = \text{Área total} / \text{Nº de Unidades}$$

$$= 14 \text{ has} / 7 \text{ Unid} = 2 \text{ has} / \text{Unid}$$

$$\text{Caudal Real } Qr = (2.78 * A * LN) / \text{Tiempo disponible}$$

$$\text{Tiempo utilizado } T = 14 \text{ ha} * 1.8 \text{ hrs} = 12.6 \text{ hrs}$$

$$\text{Caudal Real } Qr = (2.78 * 14 * 6) / 12.6 \text{ hr}$$

$$Qr = \mathbf{18.53 \text{ Lts/seg}}$$

Diseño agronómico			
Lámina Riego	6 mm/día	Precipitación	3.33 mm/día
Área Unidad	2 ha	Caudal	18.53 l/s
Área Sub Unidad	1 ha	Descarga emisor	1.0 l / hr
Nº Unidades Riego	7	Tiempo Riego	1.8 hr / unid riego
Área total	14 ha	Tiempo Riego Total	12.6 hr/día

Ecuación del gotero

Para entender la diferencia entre un gotero auto compensado y el que no lo es, podemos determinar en ellos, el flujo en Lts/hr, mediante la fórmula de cálculo, del caudal de los emisores; ésta se ajusta a una ecuación del siguiente tipo:

$$q = K * h^x$$

Siendo:

q = caudal del emisor en litros/hora.

K = Coeficiente de descarga, característico de cada emisor.

h = Presión a la entrada del emisor en metros de columna de agua (m.c.a.).

x = Exponente de descarga del emisor, que expresa la sensibilidad a las variaciones de presión.

Dependiendo del tipo de emisor auto compensado o no, se tendrá una curva caudal-presión con una mayor o menor inclinación, como podemos observar en la siguiente figura:

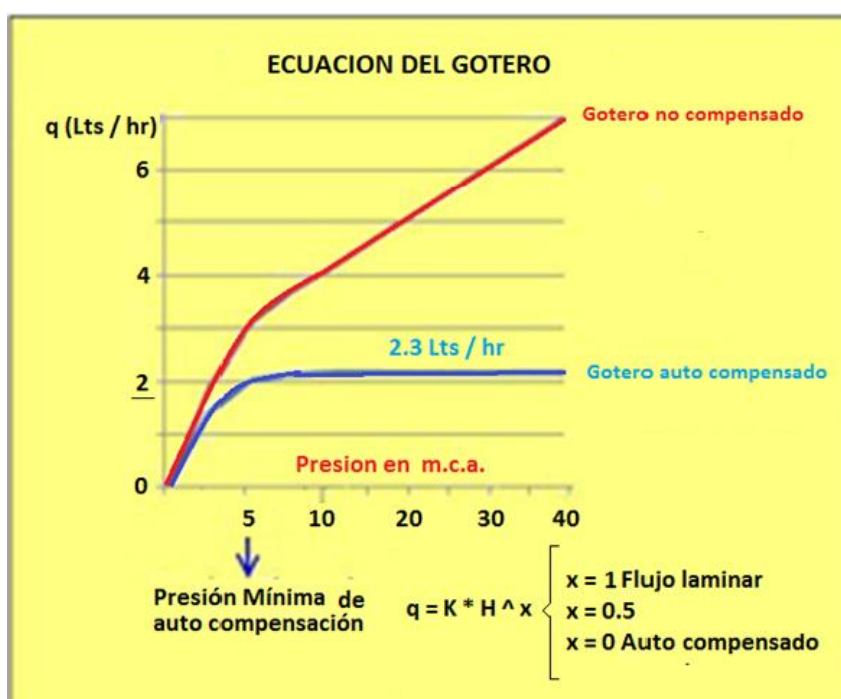


Figura 55. Ecuación del gotero.

Los fabricantes deben suministrar los valores de **K** y de **x**, de no ser así se debe recurrir a datos tabulados o a la gráfica de funcionamiento del emisor.



Tabla 28.

Ecuación del gotero.

ECUACIÓN DEL GOTERO

PSI	Bar	h	Gl/hr	q
		mca		Lts/hr
5	0.34	3.45	0.73	2.76
10	0.69	6.89	0.97	3.67
15	1.03	10.34	0.96	3.63
20	1.38	13.78 = h1	0.97	3.6718477 = q1
25	1.72	17.23	1.00	3.79
30	2.07	20.67	1.01	3.82
35	2.41	24.115 = h2	1.01	3.8232641 = q2
40	2.76	27.56	1.00	3.79
45	3.10	31.01	0.98	3.71
50	3.45	34.45	0.95	3.60

El fabricante recomienda que el gotero trabaje entre 0,7 a 3,5 bares de presión ó 7 a 35 mca para que las desviaciones de caudal sean mínimas.

Elegimos 2 valores de presión que se sitúan en la zona marcada por el intervalo de presiones en (mca) que están en el recuadro de la tabla:

h1= 13,78 mca (1,38 bar)

h2 = 24,1 mca (2,41 bar)

q1 = 3,67 l/h

q2 = 3,82 l/h

$$q \text{ (Lts/seg)} = K * h^x$$

K = Coef. De descarga

x = Exponente de descarga

h (mca)= Presión de entrada emisor

$$K = h^x / q \text{ (Lts/seg)}$$

$$K = (\text{mca})^x / q \text{ (Lts/seg)}$$

$$x = \frac{\ln(q1 / q2) \text{ Lts/hr}}{\ln(h1 / h2) \text{ mca}}$$

$$K = h1^x * q1$$

$$= \text{mca}^x / q \text{ (Lts/seg)}$$

El exponente de descarga se obtendrá como:

$$x = \frac{\ln(3,67/3,82)}{\ln(13,8/24,1)}$$

$$x = \frac{\ln 0,960}{\ln 0,573}$$

$$x = -0,0408 / -0,5569$$

$$= 0,0733$$

Ahora hallamos K:

$$K = q1 / h1^x = 3,67 / 13,78^{0,0733} = 3.03$$

$$K = 3.03$$

La ecuación del gotero compensante sería entonces:

$$q = 3.03 * h^{0,0733}$$

Comprobamos finalmente:

$$q1 = 3,14 * 13,78^{0,0733} = 3,66 \text{ l/h}$$

$$3.66$$

$$q2 = 3,14 * 24,1^{0,0733} = 3,81 \text{ l/h}$$

$$3.81$$