

**Título**

Manual para el Diseño de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia para riego agrícola En el suelo de conservación de la Ciudad de México

**Autor**

Gustavo Alonso Luna Zuñiga 2193071173

**Asesor**

Luis Manuel Rodríguez Sánchez 26812

## Tabla de contenido

Introducción.....	3
Propósito del manual.....	3
Importancia de la recolección de agua.....	3
Conceptos básicos.....	4
Funcionamiento del sistema.....	4
¿Cómo se mide el Agua?.....	5
Dimensiones del sistema.....	6
Cálculo de Precipitación confiable.....	6
Dimensión de nuestra área de captación.....	9
Bases rectangulares.....	9
¿Cuánta agua se recolecta?.....	9
Requisitos de agua para cultivos.....	13
Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ).....	13
La Evapotranspiración del Cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	14
Cálculo de ET <sub>o</sub> mediante el método el método de Thornthwaite.....	14
La Evapotranspiración del Cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	18
Coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ).....	18
Maíz.....	19
Durazno variedad diamante.....	21
Cantidad de Agua recolectada en nuestro espacio destinado.....	23
Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL):.....	24
Referencias.....	26

## Introducción

### Propósito del manual

El propósito de este manual es crear una herramienta, con los aspectos más esenciales para el diseño de un sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial, con fines de riego en las zonas agrícolas del Suelo de Conservación de la Ciudad de México. Se consideran algunos conceptos básicos para entenderlo porque es necesario recolectar agua de lluvia ya que en estos tiempos la mala administración de este recurso afecta considerablemente algunas zonas del planeta, debido principalmente a la mala administración del agua en los sistemas agrícolas, ya que según (INEGI) el agua destinada a la agricultura corresponde alrededor del 76 % del agua potable del país, por eso actualmente la importancia misma de estos sistemas en entornos agrícolas es esencial para mantener una agricultura racional. En este manual tomaremos algunos conceptos básicos como, los pasos necesarios para calcular el volumen de agua que puedes captar, en  $m^2$ ,  $m^3$  y mm , tomando en cuenta los mm de agua que llueve en la zona, el espacio de captación destinado a esta tarea, así como el volumen que necesitamos para almacenar esta agua, los diferentes tipos de reservorios y como calcular de manera sencilla las necesidades hídricas de tu cultivo.

### Importancia de la recolección de agua

Actualmente la falta de agua de cerca de 2,200 millones de personas, y se prevé que para el 2,050 cerca del 52% de la población presentará una severa escasez según datos de la OMS. Lo anterior se debe a varios problemas como el mal manejo de las aguas residuales, ya que ceca del 80% de estas aguas que provienen de industrias de todo tipo se vierten al ambiente sin tener un tratamiento previo, el uso excesivo de insumos agrícolas tanto orgánicos como sintéticos, los cuales son lixiviados a los mantos acuíferos afectando la calidad del agua y la salud de las personas, cultivos y de los sistemas naturales según la FAO.

En México la situación no es muy diferente a la del resto del mundo, ya que en nuestro país alrededor de 7 millones de personas no tienen acceso a este vital líquido, además el 70% de las aguas residuales no es tratada, siendo desechada directamente a cuerpos de agua que terminan siendo contaminados. Otro problema es la sobre explotación de los acuíferos en múltiples cuencas de nuestro país en el caso de la Ciudad del México actualmente el 100% de los acuíferos se encuentran explotados y se requiere traer agua de otras cuencas como a la

del Cutzamala para poder satisfacer la creciente demanda de agua potable para usos urbanos CONAGUA.

Aunado a todos estos problemas, en México contamos con sistemas de riego arcaicos en muchas partes del país, Lo que genera un uso poco eficiente del agua dentro de la agricultura. A lo anterior, hay que añadir el problema de la sequía que ha experimentado buena parte de nuestro país en los últimos tres años por los complejos fenómenos y ciclos climáticos, y los cambios en los patrones de precipitación, que traen lluvias más intensas en periodos más cortos del día, lo que puede incrementar el agua que escurre superficialmente por el suelo y reduce la infiltración en cada evento de lluvia, aumentando el riesgo de erosión y reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua dentro de las parcelas agrícolas.

Por eso es indispensable la recolección de agua pluvial, para usarlo eficientemente para nuestros cultivos y ganado.

## Conceptos básicos

La grafica de conceptos está hecha a partir de conceptos, así como su descripción, consideraciones y el uso del diseño, es necesario conocer los conceptos ya que se usarán a lo largo del manual.

Concepto	Descripción	Consideraciones	Uso en Diseño
Precipitación	Cantidad:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Precipitación pluvial anual: Total de lluvia caída en un lugar específico durante un año.</li> <li>* Precipitación pluvial estacional: Cantidad de lluvia que cae en una temporada específica.</li> <li>* Promedios históricos y tendencias: Patrones de precipitación observados a lo largo de muchos años.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fundamental para crear sistemas resilientes que puedan adaptarse a las variaciones climáticas a largo plazo. * Permite dimensionar el sistema de almacenamiento.</li> </ul>
Precipitación	Intensidad:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se mide en milímetros por hora (mm/h).</li> <li>* Se calcula utilizando datos históricos de lluvia.</li> <li>* Se consideran los eventos de precipitación más intensos que pueden ocurrir en un área específica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Permite dimensionar canaletas y bajantes para manejar picos de flujo de agua.</li> </ul>
Precipitación	Variabilidad:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La variabilidad interanual de la precipitación debe ser considerada.</li> <li>* Puede ser causada por fenómenos climáticos naturales como El Niño y La Niña.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Los sistemas deben ser diseñados para manejar años húmedos y secos.</li> </ul>
Superficie de captación	Área:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El área efectiva de captación determina la cantidad de agua recolectable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Permite dimensionar el sistema de almacenamiento.</li> </ul>
Superficie de captación	Material:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El material de la superficie de captación afecta la calidad del agua recolectada.</li> <li>* Materiales comunes: Techos de metal, concreto, plástico o tejas.</li> <li>* Metales: Galvanizado, aluminio, acero inoxidable.</li> <li>* Concreto: Requiere tratamiento para evitar la lixiviación de cal.</li> <li>* Plástico: Polietileno, polipropileno. * Tejas: Barro, arcilla, concreto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Impacta la calidad del agua recolectada.</li> <li>* Deben seleccionarse materiales que sean compatibles con el uso previsto del agua.</li> </ul>
Superficie de captación	Mantenimiento:	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La facilidad de limpieza y mantenimiento de la superficie de captación es importante.</li> <li>* Accesibilidad: Facilidad para acceder a la superficie de captación para su limpieza.</li> <li>* Dificultad de limpieza: Algunos materiales pueden ser más difíciles de limpiar que otros.</li> <li>* Frecuencia de limpieza: Depende de la cantidad de polvo, hojas y otros contaminantes que se acumulen en la superficie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El mantenimiento regular es esencial para asegurar la calidad del agua recolectada.</li> </ul>

Grafica de Conceptos

## Funcionamiento del sistema

Para dimensionar nuestro sistema de captación debemos considerar factores, como el tamaño del espacio para captar el agua, el espacio destinado a reservarla, así como algunos conceptos

básicos de matemáticas que en el proceso de esta sección se explicaran paso a paso e intentando hacerlo de la manera más sencilla y didáctica posible.

### ¿Cómo se mide el Agua?

Para iniciar los cálculos, debemos entender cómo se mide el agua, ya que estamos acostumbrados a medirlo por litros, pero por cuestiones prácticas en la captación pluvial es necesario medirlo en milímetros (mm) nos dirá cuánta agua se precipita en un espacio específico. Que suelen ser espacios como azoteas, corrales, invernaderos o cualquier superficie con desnivel suficiente, que tienen formas cuadradas o rectangulares. Para medir la lluvia de esta forma tenemos que entender que en  $1\text{ m}^2$  con 1 mm de altura es equivalente a 1 litro de agua, esto quiere decir que si en un contenedor de 1 metro cuadrado el agua de lluvia que se logra recolectar llega a la altura de 15mm tenemos que entender que en ese momento llovieron 15 litros de agua por metro cuadrado, será ejemplificado en la ilustración n1.



Ilustración 1 ¿Como se mide el agua?

Precipitación (mm)	Volumen (L/m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	1	0.001
10	10	0.01
25	25	0.025
100	100	0.1
200	200	0.2
300	300	0.3
400	400	0.4
500	500	0.5

*Tabla 1 Conversiones de mm a litros*

### Dimensiones del sistema

Cuando se sabe cómo se mide el agua, se tienen que realizar cálculos para saber cuánta agua captara nuestro espacio destinado a este fin. Saber cuánta agua captaremos en determinado espacio tiene que ver con los requerimientos de agua de nuestros cultivos, el material de construcción del área destinada y la precipitación confiable de la zona en donde nos encontremos.

Estos datos se saben a partir de diferentes cálculos y consultas en internet y tablas ya existentes en manuales.

- El primer paso es saber cuánta agua puede precipitar con cierta probabilidad en el mes o año que deseamos, lo cual se calculara en esta sección. Posterior a esto, necesitamos saber las dimensiones de nuestra área de captación, así como el material del que está fabricado para saber la escorrentía y poder tener un acercamiento más preciso a la cantidad de agua que se recolectara. Por último, tenemos que calcular el espacio de nuestro almacenamiento.

### Cálculo de Precipitación confiable

Esta precipitación se obtiene a partir de análisis estadísticos, este dato nos va a ayudar a calcular cuanto cantidad de lluvia o nieve se espera que caiga por mes en nuestras zonas de cultivo, con diferentes probabilidades, dependiendo que unidad productiva se trabaje. Es decir que se intenta saber cuánta lluvia tendremos mensualmente de acuerdo con la cantidad de milímetros de lluvia que cayeron en meses de años pasados, para poder predecir la capacidad de agua de lluvia que podremos capturar con nuestros sistemas de acuerdo con que cultivo

trabajamos en este manual se trabajara con maíz (*Zea mays*), y Durazno variedad diamante (*Prunus pérsica* (L.) Batsch).

- Para calcular la precipitación confiable se deben tener los datos de la zona en donde está ubicado nuestra unidad productiva, con el fin de obtener los datos atmosféricos, en México tenemos que recurrir a quien se encarga de recolectar los datos, en el caso de nuestro país es CONAGUA, el cual tiene numerosas estaciones climatológicas alrededor del país, las cuales puedes buscar en el siguiente enlace: <https://smn.conagua.gob.mx/es>.

Con la finalidad de obtener una tabla de mínimo 10 años con los promedios de lluvia por cada mes en esos 10 años como se muestra en la tabla 2, en esta tabla se muestran los datos mensuales de precipitación de 10 años en Santa Ana Tlacotenco, en la Alcaldía de Milpa Alta CDMX.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA COORDINACIÓN GENERAL DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL PROYECTO DE BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS													
Estación meteorológica: 00009045 SANTA ANA TLACOTENCO, MILPA ALTA, CDMX													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUMULADO ANUAL
2005	7	4	19	11	22	95	124.5	119	79.5	82	1	0	564
2006	8	0	12	10	35.3	139	165.8	145.6	271.5	132.8	28	2	950
2007	0	43	24	54	57.5	55.5	82	222.9	176.9	35	0	1	751.8
2008	0	7.5	0	38	24.2	153.5	93.4	124.9	164.5	35	0	0.6	641.6
2010	3.8	13.6	13.8	28.3	34.8	110.8	116.4	133.5	150.4	1	7.3	0.9	614.4
2011	1	0	0	27.5	6.7	147.4	159.8	157.9	128.2	32	31	0	691.5
2012	10.6	27.2	7.5	22.6	37.7	139.6	189.8	130	81.3	11.8	27.7	0	685.8
2014	0.7	0.1	31.1	28.2	130.9	128.6	114.1	83.7	209.5	74.1	6.3	42.2	849.5
2015	0	11.7	83.5	26.5	142.1	62.7	82.9	141	80.1	50.5	12.7	5.8	699.5
2016	12.2	1.7	110.3	32.2	38.6	75.4	140.4	146.8	96.7	24.4	99.6	9.7	788.0
Promedio	4.3	10.9	30.1	27.8	53.0	110.7	126.9	140.5	143.9	47.9	21.4	6.2	723.6

Tabla 2 cantidad de lluvia entre los años 2005-2016, para la estación climatológica 9045 ubicada en el pueblo de Santa Ana Tlacotenco en la Alcaldía de Milpa Alta, CDMX, México.

- Una vez conociendo los datos de precipitación promedio de nuestra zona de interés necesitamos decidir con que probabilidad calcularemos nuestra precipitación confiable, esto depende del tipo de cultivo que se trabaje, en la tabla 3 se deja una recomendación de porcentajes dependiendo de la tolerancia hídrica de diversos cultivos.

Tipo de Cultivo	Rango de Precipitación Confiable (%)	Ejemplos de Cultivos
Alto consumo de agua	70 - 85	Arroz, maíz, caña de azúcar, algodón, hortalizas
Sensibilidad al estrés hídrico	65 - 80	Frutales, hortalizas de hoja verde, legumbres, café, cacao
Bajo consumo de agua	50 - 65	Trigo, cebada, sorgo, girasol, leguminosas
Tolerancia al estrés hídrico	40 - 55	Uva, olivo, higo, nopal, aloe vera

Tabla 3 Tolerancia hídrica y relación con su rango de precipitación confiable.

- Nosotros trabajaremos con el 75% ya que nuestros cultivos son Maíz y Durazno y sus rangos de precipitación confiable esta entre los 65 – 85 de ambos cultivos, pero dependerá de cada productor.
- Ya que decidimos con que confiabilidad trabajaremos necesitamos saber el promedio de la lluvia acumulada en los últimos 10 años que presenta nuestra zona y cómo podemos observar en la última fila de nuestra tabla 2 el valor es de 723.6 mm de lluvia acumulada en promedio anual de los últimos 10 años, esto debemos compararlo con la tabla 4 la cual muestra una estimación del índice de precipitación (Ip), lo que tenemos que hacer es encontrar en la tabla 4 la precipitación más acercada a nuestra zona de interés, en nuestro caso la precipitación anual es 723.6 y en la tabla 4 el valor más cercano es 700, nosotros trabajaremos una confiabilidad del 75% y de acuerdo con lo que nos salga en la tabla 4, aplicaremos la siguiente formula:

PPT Anual	%					
	50	60	70	75	80	90
75	0.8	0.68	0.56	0.51	0.45	0.33
100	0.84	0.72	0.61	0.56	0.5	0.38
125	0.87	0.76	0.65	0.6	0.54	0.42
150	0.88	0.78	0.68	0.63	0.57	0.45
175	0.89	0.79	0.69	0.65	0.6	0.48
200	0.9	0.81	0.71	0.67	0.62	0.51
225	0.91	0.82	0.73	0.68	0.63	0.53
250	0.92	0.83	0.75	0.7	0.65	0.55
300	0.93	0.85	0.78	0.74	0.69	0.58
350	0.94	0.86	0.79	0.75	0.71	0.61
400	0.95	0.88	0.81	0.77	0.73	0.63
450	0.95	0.89	0.82	0.78	0.74	0.65
500	0.96	0.9	0.83	0.79	0.75	0.67
550	0.96	0.9	0.84	0.81	0.77	0.69
600	0.97	0.91	0.84	0.81	0.78	0.7
650	0.97	0.92	0.85	0.82	0.79	0.71
700	0.97	0.92	0.86	0.83	0.8	0.72
750	0.97	0.93	0.87	0.84	0.81	0.73
900	0.98	0.93	0.88	0.85	0.82	0.75
1000	0.98	0.94	0.89	0.86	0.83	0.77
1150	0.98	0.94	0.9	0.87	0.84	0.78
1250	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85	0.79
1400	0.99	0.95	0.91	0.89	0.86	0.8
1500	0.99	0.95	0.91	0.89	0.87	0.81
1800	0.99	0.95	0.92	0.9	0.88	0.83
2000	0.99	0.95	0.92	0.91	0.89	0.85
2500	0.99	0.96	0.93	0.92	0.9	0.86

Tabla 4 índice de precipitación (Ip)

Como podemos observar el valor que necesitamos es 0.83, marcado en la tabla 4 y para este ejemplo trabajaremos con el mes de junio el cual la tabla 2 nos dice la precipitación mensual de junio promedio en los últimos 10 años es de 110.7mm, ya que tenemos estos dos datos necesitamos substituir la fórmula de precipitación confiable la cual es:

$$Ppt(75\%) = Ip \times Ppt(p)$$

Donde:  $lp$  = Se saca de tablas  
 $Ppt(p)$  = Lluvia promedio del mes.

### Substitución con nuestros datos

#### Mensual

$$Ppt (75\%) = 0.83 \times 110.7mm$$

$$\underline{Ppt (75\%) = 91.9mm}$$

#### Anual

$$Ppt (75\%) = 0.83 \times 723.6mm$$

$$\underline{Ppt (75\%) = 600.06mm}$$

Para calcular cuanta lluvia tendremos en todo un año se realiza este procedimiento por los 12 meses y se suman en la tabla 5 se muestran los valores de todo el año y el con junto

### Dimensión de nuestra área de captación

Ya que sabemos cuanta lluvia tendremos en el mes y cuanta en el año tenemos que medir el área de captación que usaremos, puede ser el techo de cualquier estructura, para esta tarea se necesitan fórmulas de áreas sencillas, de formas cuadrangulares y rectangulares, para lo cual se utiliza la siguiente formula:

### Bases rectangulares:

$$Vm^3 = LxL$$

Donde:  $L$  = Largo

### Sustituyendo el ejemplo de la ilustración 2

$$Vm^3 A1 = 5m \times 5m$$

$$Vm^3 A1 = 25m^2$$

$$Vm^3 A2 = 10m \times 10m$$

$$Vm^3 A2 = 100m^2$$

$$Vm^3 Total = 100m^2 + 25m^2$$

$$\underline{Vm^3 Total = 125m^2}$$

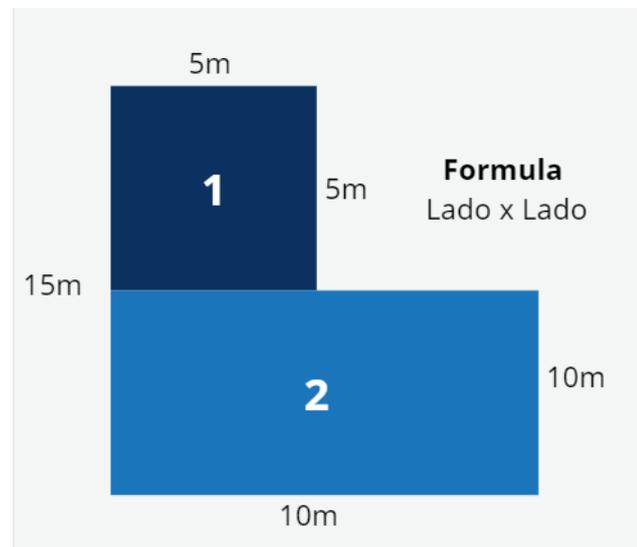


Ilustración 2 ejemplo con formula de un espacio para la captación de agua.

### ¿Cuánta agua se recolecta?

En el ejemplo se puede observar las medidas de un espacio destinado a la captación de agua tienen un tamaño total de  $125m^2$ , y recordando de la operación anterior tuvimos una lluvia confiable al 75% en junio de 91.9 mm y anual de 600.6mm como se muestra en la tabla 5.

Con este dato podemos saber cuanto podemos captar de agua en 1 mes o en todo el año con 2 simples datos que ya tenemos la precipitación confiable al 75% y el área en  $m^2$  destinada a esta actividad, esto se resuelve de la siguiente manera:

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA COORDINACIÓN GENERAL DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL PROYECTO DE BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS													
Estación meteorológica: 00009045 SANTA ANA TLACOTENCO, MILPA ALTA, CDMX													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUMULADO ANUAL
2005	7	4	19	11	22	95	124.5	119	79.5	82	1	0	564
2006	8	0	12	10	35.3	139	165.8	145.6	271.5	132.8	28	2	950
2007	0	43	24	54	57.5	55.5	82	222.9	176.9	35	0	1	751.8
2008	0	7.5	0	38	24.2	153.5	93.4	124.9	164.5	35	0	0.6	641.6
2010	3.8	13.6	13.8	28.3	34.8	110.8	116.4	133.5	150.4	1	7.3	0.9	614.4
2011	1	0	0	27.5	6.7	147.4	159.8	157.9	128.2	32	31	0	691.5
2012	10.6	27.2	7.5	22.6	37.7	139.6	189.8	130	81.3	11.8	27.7	0	685.8
2014	0.7	0.1	31.1	28.2	130.9	128.6	114.1	83.7	209.5	74.1	6.3	42.2	849.5
2015	0	11.7	83.5	26.5	142.1	62.7	82.9	141	80.1	50.5	12.7	5.8	699.5
2016	12.2	1.7	110.3	32.2	38.6	75.4	140.4	146.8	96.7	24.4	99.6	9.7	788.0
Promedio	4.3	10.9	30.1	27.8	53.0	110.7	126.9	140.5	143.9	47.9	21.4	6.2	723.6
Precipitación confiable (75%)	3.6	9.0	25.0	23.1	44.0	91.9	105.3	116.6	119.4	39.7	17.7	5.2	600.6

Tabla 5 Precipitación confiable al 75% y precipitación efectiva

Formula:

$$\text{Lluvia recolectada} = \text{Ppt} \times m^2$$

Donde **Ppt**= la precipitación confiable puede ser calculada como ya se mostró al porcentaje preferido

**m<sup>2</sup>** = los metros cuadrados destinados a esta actividad

Sustitución mes junio

$$\text{Lluvia recolectada} = 91.9\text{mm} \times 125\text{m}^2$$

$$\underline{\text{Lluvia recolectada} = 11,487.5 \text{ mm}}$$

Sustitución anual

$$\text{Lluvia recolectada} = 600.6\text{mm} \times 125\text{m}^2$$

$$\underline{\text{Lluvia recolectada} = 75,075 \text{ mm}}$$

Con la finalidad de poder trabajar en las mismas unidades de los contenedores convertiremos los resultados a m<sup>3</sup> con la siguiente división:

Conversión a m<sup>3</sup>

$$m^3 = \frac{mm}{1000}$$

Sustitución mes junio

$$m^3 = \frac{11,487.5}{1000}$$

$$\underline{m^3 = 11.48m^3}$$

Sustitución anual

$$m^3 = \frac{75,075}{1000}$$

$$m^3 = 75.07m^3$$

Para finalizar tenemos que tomar en cuenta el material del que esta hecho nuestro espacio de recolección, es decir, si es de concreto, lamina, teja o algún otro material de construcción ya que esto es muy importante debido a los índices de escorrentía (Ir) los cuales son medidas que se utilizan en hidrología para estimar la cantidad de agua de lluvia que se convierte en escorrentía superficial, es decir, el agua que fluye sobre la superficie del terreno, estos se pueden investigar en páginas web de la FAO <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>. Estos coeficientes se tienen que multiplicar por la cantidad de mm que se recolectan en el área destinada para saber cuánto es lo que realmente caerá a nuestros almacenes de agua en la tabla 6 veremos algunos índices de escorrentía.

Material	Índice de Escorrentía	Descripción
Concreto	0.9	Muy alta escorrentía, infiltración nula.
Asfalto	1	Muy alta escorrentía, infiltración nula.
Ladrillo	0.7	Alta escorrentía, infiltración baja.
Teja	0.9	Alta escorrentía, infiltración baja.
Madera	0.5	Escorrentía media, infiltración moderada.
Metal	0.7	Escorrentía media, infiltración moderada.
Plástico	0.7	Escorrentía media, infiltración moderada.
Vidrio	0.7	Escorrentía media, infiltración moderada.
Grava	0.3	Escorrentía media, infiltración moderada.
Arena	0.1	Baja escorrentía, infiltración rápida.
Tierra	0.5	Variable, depende de la compactación y la pendiente.

Tabla 6 índice de escorrentía (Ir)

Para ejemplificarlo supondremos que nuestro espacio de captación es un techo colado es decir que esta hecho de concreto, este material tiene una escorrentía de 0.9, solo se multiplica por la cantidad de agua se puede recolectar la formula quedaría de la siguiente forma:

**Formula**

$$LLuvia\ total = (Ppt\%) \times (Ir)$$

Donde PPT%= precipitación confiable

Ir= índice de escorrentía

**Anual**

$$LLuvia\ total = 75.5m^3 \times 0.9$$

$$LLuvia\ total\ (con\ escorrentia) = 67.5\ m^3$$

**Mensual**

$$LLuvia\ total = 11.4m^3 \times 0.9$$

$$LLuvia\ total\ (con\ escorrentia) = 10.3m^3$$

En nuestro ejemplo tenemos como resultado que en una probabilidad del 75% podremos captar 10.3m<sup>3</sup> de agua en el mes de junio y 67.5 m<sup>3</sup> en todo el año.

Saber que nuestros espacios captan cierta cantidad de agua es el primer paso. Enseguida debemos determinar cuánta agua podemos almacenar en determinados contenedores o espacios que adaptamos en nuestras parcelas, por ello es importante tener el conocimiento de

como calcular volúmenes para almacenar agua como tinacos, cubetas, cisternas, reservorios de geomembrana etc.

Para estas operaciones se usarán las fórmulas que todos conocemos de volúmenes las cuales se muestran en la Ilustración 3 y realizaremos 1 ejemplo de una cisterna y un recolector de agua.

FORMULARIO		VOLUMENES
<b>Cilindro</b>		<b>Pirámides:</b>
$Vm^3 = \pi \times r^2 \times h$	<b>Bases rectangulares</b>	$V = 1/3 \times B \times h$
	$Vm^3 = L \times A \times P$	Bases cuadradas L x L
		Bases circulares ( $\pi \times r^2$ )
<b>Captador de Agua:</b>		Donde en todas las formulas:
$V = (h/3)(A1 + A2 + \sqrt{(A1 \times A2)})$		A=Ancho
		A1= Área menor
		A2= Área mayor
		B= Base
		h=Profundidad
		L=Largo
		r=radio

Ilustración 3 Fórmulas de volúmenes

### Ejemplo1:

Supongamos que tenemos una cisterna la cual mide 5 metros de ancho por 5 metros de largo con una profundidad de 3.5 metros, ¿cuánta agua podríamos almacenar en este espacio?

## CALCULO DE VOLUMEN EN CISTERNA RECTANGULAR

### Formula

$$V^3 = L \times L \times H$$

Sustitución

$$V^3 = 5m \times 5m \times 3.5m$$

$$V^3 = 87.5m^3$$

Lo cual se tiene que convertir a litros de la siguiente manera:

$$VL = V^3 \times 1000$$

$$VL = 87.5m^3 \times 1000$$

$$VL = 87,500 \text{ litros}$$

Formula - Lado x Ancho X h

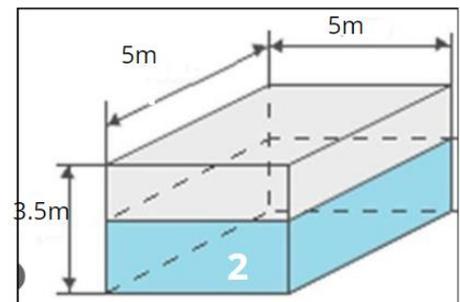


Ilustración 4 cálculo de cisterna

Esta cisterna nos puede almacenar 87,500 litros de agua que si recordamos es igual a 87,500mm de agua de lluvia que puede recolectar esta cisterna, si recordamos que nosotros podemos capturar 67,567.5 mm de agua podríamos decir que estamos sobrados.

### Ejemplo2

Supongamos que tenemos espacio en nuestro terreno y queremos hacer una captadora de geomembrana y queremos saber cuánta agua podríamos almacenar en ella, para esto se requiere de la siguiente formula:

Formula

$$V^3 = (h/3)(A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2})$$

$$V^3 = (3/3)(126m^2 + 84m^2 + \sqrt{126m^2 \times 84m^2})$$

$$V^3 = (1)(210m^2 + \sqrt{10584m^2})$$

$$V^3 = (1)(210m^2 + 102.87m^2)$$

$$V^3 = (1)(312.87m^2)$$

$$V^3 = 312.7m^3$$

$$V^3 = 312.7m^3$$

Si lo convertimos a litros

$$VL = V^3 \times 1000$$

$$VL = 312.7m^3 \times 1000$$

$$VL = 312,870 \text{ litros}$$

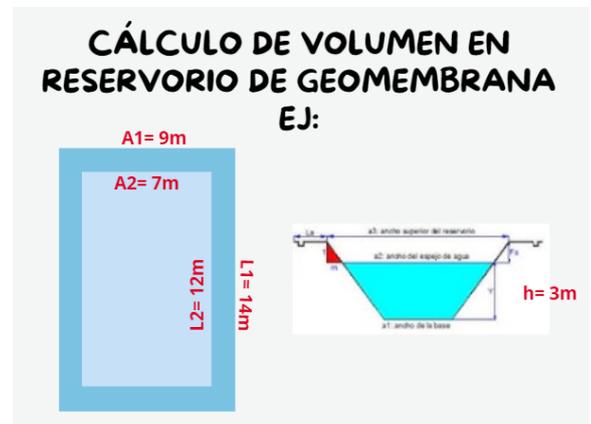


Ilustración 6 Calculo de reservorio de agua

Una vez obtenidos nuestros valores de recolección y almacenamiento de Agua tenemos que saber cuanta agua requiere nuestro cultivo, para saber cuanta agua se ahorrara gracias a la recolección de agua pluvial.

## Requisitos de agua para cultivos

El recurso permitirá saber cuánto gastamos por hectárea en un ciclo agrícola, es importante saber estos datos, ya que en estos tiempos el agua es un bien que se necesita repartir de manera más racional, y con técnicas correctas como la recolección de agua y técnicas más eficientes de riego, eficientizaremos con técnicas más eficientes de riego.

Para iniciar con los cálculos es necesario tener en cuante dos conceptos Evapotranspiración (ETc) y Evapotranspiración de referencia (ETo).

### Evapotranspiración de referencia (ETo)

La evapotranspiración de referencia (ETo) es la cantidad de agua que se evaporaría y transpiraría de un campo de hierba verde, bien regada y de altura uniforme, en condiciones climáticas específicas. Es un indicador del poder evaporante de la atmósfera en un lugar y época determinados.

Para calcular la evapotranspiración de referencia usaremos el método de Thornthwaite que se basa en la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes.

## La Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

Es la cantidad de agua que un cultivo específico pierde a través de la evapotranspiración. La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua se transfiere desde la tierra a la atmósfera por evaporación desde el suelo y otras superficies y por transpiración de las plantas.

La ETc se calcula generalmente como el producto de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) y el Coeficiente del Cultivo (Kc):

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

Una vez que sabemos a qué se refiere con ETc y ETo procedemos a realizar los cálculos para conocerlos.

### Cálculo de ETo mediante el método de Thornthwaite

Calcular la Evapotranspiración de referencia (ETo), este cálculo es un tanto extenso pero sencillo además de necesario para saber el requerimiento de agua de nuestros cultivos.

Para iniciar con el cálculo de Eto necesitamos el uso de la tabla N 7 esta tabla nos muestra en esta ocasión las temperaturas medias de cada mes durante los mismos 10 años que se trabajó la precipitación y de la misma estación meteorológica, es necesario recordar que este es un ejemplo y si necesitas información específica de los datos atmosféricos más cercanos a tu parcela visita este enlace: <https://smn.conagua.gob.mx/es>.

Estación meteorológica: 00009045													
SANTA ANA TLACOTENCO, MILPA ALTA, CDMX Temperatura													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2005	13.3	15.7	16.8	19.0	18.3	18.5	17.4	16.7	16.0	15.6	14.0	14.1	16.3
2006	13.4	15.8	16.2	17.3	18.0	16.6	16.8	16.1	16.7	15.7	13.2	12.3	15.7
2007	14.0	14.6	16.2	16.9	17.2	17.4	16.9	16.5	15.7	13.9	13.8	14.1	15.6
2008	13.4	15.2	16.4	17.8	17.6	16.6	15.6	17.1	15.0	13.9	13.5	13.8	15.5
2010	13.5	15.3	16.4	17.7	17.8	17.3	16.7	17.0	16.4	15.7	13.6	13.6	15.9
2011	14.4	15.8	17.0	19.0	19.8	17.6	16.1	17.2	16.4	15.2	14.4	14.0	16.4
2012	13.5	14.1	16.5	17.2	18.8	17.4	16.2	16.4	16.9	16.6	14.3	14.8	16.1
2014	12.5	15.9	17.5	18.2	16.9	16.7	16.3	16.8	16.4	15.1	14.9	13.5	15.9
2015	13.2	14.9	15.3	18.6	17.5	17.5	16.7	17.2	16.8	15.2	13.9	13.8	15.9
2016	12.7	14.9	15.5	18.0	19.5	17.4	16.7	17.4	16.9	16.0	13.9	15.1	16.2
Promedio	13.4	15.2	16.4	18.0	18.1	17.3	16.5	16.8	16.3	15.3	13.9	13.9	15.9

Tabla 7 Muestra los datos de temperatura de la estación de Milpa Alta

Los siguientes datos necesario es la duración promedio de horas sol en nuestra zona específica, esto se puede obtener en páginas de internet como: <https://salidaypuestadelsol.com/sun> donde puedes encontrar información de la salida y puesta de son en tu parcela, en el caso de Milpa Alta los promedios de sol al día por mes son como en la tabal 7 la cual nos muestra los valores de las horas de sol al día.

Mes	Horas de Sol Promedio	Días
Enero	7	31
Febrero	8	29
Marzo	8	31
Abril	9	30
Mayo	9	31
Junio	10.8	30
Julio	9	31
Agosto	8	31
Septiembre	7	30
Octubre	7	31
Noviembre	7	30
Diciembre	7	31

Tabla 8 horas de sol al día promedio en los 12 meses del año

Una vez conociendo todos estos datos podemos entrar de lleno a los cálculos, como primer paso es necesario conocer el índice de calor mensuales (IJ) este se calcula usando la tabla 7 tomando el valor promedio mensual de temperatura del mes de interés, para este ejemplo se usará el mes de junio como se ha ido haciendo en este ejemplo, usando la formula:

#### Formula

$$ij = (tmj/5)^{1,514}$$

Donde: **tmj** = temperatura media del mes.

Sustitución

$$ij = (17.3^{\circ}\text{C}/5)^{1,514}$$

$$ij = 6.5$$

En este caso al igual que todos los cálculos anteriores se tiene que hacer el cálculo por cada mes del año o por los meses que tarde el cultivo en desarrollarse, pero como se mencionó lo ejemplificaremos con el mes de junio y en la tabla 9 se encuentra el valor Ij de cada mes, así como la suma de todos los valores.

Estación meteorológica: 00009045													
SANTA ANA TLACOTENCO, MILPA ALTA, CDMX Temperatura													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2005	13.3	15.7	16.8	19.0	18.3	18.5	17.4	16.7	16.0	15.6	14.0	14.1	16.3
2006	13.4	15.8	16.2	17.3	18.0	16.6	16.8	16.1	16.7	15.7	13.2	12.3	15.7
2007	14.0	14.6	16.2	16.9	17.2	17.4	16.9	16.5	15.7	13.9	13.8	14.1	15.6
2008	13.4	15.2	16.4	17.8	17.6	16.6	15.6	17.1	15.0	13.9	13.5	13.8	15.5
2010	13.5	15.3	16.4	17.7	17.8	17.3	16.7	17.0	16.4	15.7	13.6	13.6	15.9
2011	14.4	15.8	17.0	19.0	19.8	17.6	16.1	17.2	16.4	15.2	14.4	14.0	16.4
2012	13.5	14.1	16.5	17.2	18.8	17.4	16.2	16.4	16.9	16.6	14.3	14.8	16.1
2014	12.5	15.9	17.5	18.2	16.9	16.7	16.3	16.8	16.4	15.1	14.9	13.5	15.9
2015	13.2	14.9	15.3	18.6	17.5	17.5	16.7	17.2	16.8	15.2	13.9	13.8	15.9
2016	12.7	14.9	15.5	18.0	19.5	17.4	16.7	17.4	16.9	16.0	13.9	15.1	16.2
Promedio	13.4	15.2	16.4	18.0	18.1	17.3	16.5	16.8	16.3	15.3	13.9	13.9	15.9
IJ	4.4	5.4	6.0	6.9	7.0	6.5	6.1	6.3	6.0	5.4	4.7	4.7	69.6

Tabla 9 Calculo de índice de calor mensual (Ij) por mes y la suma de los 12 valores

Ya obtenido los primeros valores necesarios para sumar los 12 meses y haciendo el cálculo para Ij el cual obtuvo un valor de Ij=69.6, en la suma anual de todos los coeficientes de calor,

el cual podemos encontrar en la última fila de nuestra tabla 9, se calcula el coeficiente exponencial (a) el cual usaremos más adelante, se calcula con la fórmula:

$$a = 0,000000675 \cdot Ij^3 - 0,0000771 \cdot Ij^2 + 0,01792 \cdot Ij + 0,49239$$

Donde: 'Ij' es el índice de calor anual

En nuestro ejemplo el Ij es la suma de los 12 calores que obtuvimos al calcular Ij (69.6) el cual se observa en la tabla 8

Sustitución

$$a = 0,000000675 \cdot 69.6^3 - 0,0000771 \cdot 69.6^2 + 0,01792 \cdot 69.6 + 0,49239$$

$$a = 1.6$$

El siguiente paso es calcular la evapotranspiración mensual sin ajustar (e) la cual se debe obtener mensualmente en este ejemplo se hará como todos los demás con el mes de junio, pero se tiene que sacar de todos los meses como muestra la tabla 9 y se obtiene de la siguiente fórmula:

**Formula**

$$e = 16 \cdot (10 \cdot tm/I)^a$$

Donde "Tm" temperatura por mes

'I' es el índice de calor anual

"a" es coeficiente exponencial

Sustitución con junio

$$e = 16 \cdot (10 \cdot 17.3^{\circ}C/69.6)^{1.6}$$

$$e = 68.2mm$$

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA COORDINACIÓN GENERAL DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL PROYECTO DE BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS													
Estación meteorológica: 00009045 SANTA ANA TLACOTENCO, MILPA ALTA, CDMX Temperatura													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2005	13.3	15.7	16.8	19.0	18.3	18.5	17.4	16.7	16.0	15.6	14.0	14.1	16.3
2006	13.4	15.8	16.2	17.3	18.0	16.6	16.8	16.1	16.7	15.7	13.2	12.3	15.7
2007	14.0	14.6	16.2	16.9	17.2	17.4	16.9	16.5	15.7	13.9	13.8	14.1	15.6
2008	13.4	15.2	16.4	17.8	17.6	16.6	15.6	17.1	15.0	13.9	13.5	13.8	15.5
2010	13.5	15.3	16.4	17.7	17.8	17.3	16.7	17.0	16.4	15.7	13.6	13.6	15.9
2011	14.4	15.8	17.0	19.0	19.8	17.6	16.1	17.2	16.4	15.2	14.4	14.0	16.4
2012	13.5	14.1	16.5	17.2	18.8	17.4	16.2	16.4	16.9	16.6	14.3	14.8	16.1
2014	12.5	15.9	17.5	18.2	16.9	16.7	16.3	16.8	16.4	15.1	14.9	13.5	15.9
2015	13.2	14.9	15.3	18.6	17.5	17.5	16.7	17.2	16.8	15.2	13.9	13.8	15.9
2016	12.7	14.9	15.5	18.0	19.5	17.4	16.7	17.4	16.9	16.0	13.9	15.1	16.2
Promedio	13.4	15.2	16.4	18.0	18.1	17.3	16.5	16.8	16.3	15.3	13.9	13.9	15.9
Ij	4.4	5.4	6.0	6.9	7.0	6.5	6.1	6.3	6.0	5.4	4.7	4.7	69.6
a	1.6												
e	45.4	55.7	62.4	72.4	73.6	68.2	63.5	65.4	62.3	56.0	48.4	48.3	

Tabla 10 valores de "e" por mes

El siguiente paso es corregir la evapotranspiración mensual sin ajustar: Para el cálculo de la ETP de un mes determinado será preciso corregir la ETo sin ajustar "e" el cual obtuvo un valor de e = 68.2mm, el cual mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud, estos datos están en la tabla 8, la cual muestra horas de sol al día y el número de días que tiene cada mes.

Para generar este cálculo introduce el índice de iluminación (Li) mensual en unidades de 12 horas, la cual elegiremos según el mes que calcularemos, y como en todo el manual seguiremos usando junio, pero esta operación se tiene que hacer con todos los años. La fórmula es:

$$Li = Ndi/30 \cdot Ni/12$$

Donde: Ndi= número de días del mes

Ni= horas de sol al día

Substitución del mes de junio es:

$$Li = 30/30 \cdot 10.8/12$$

$$Li = 0.9$$

Una vez que se obtiene el índice de iluminación  $Li = 0.9$  se tiene que corregir la evapotranspiración lo cual se realiza con la siguiente fórmula:

$$ETPTho = e \cdot Li$$

Donde e= ETo sin ajustar

Li= índice de iluminación

Sustitución

$$ETPTho = 68.2 \cdot 0.9$$

$$ETPTho = 61.36mm/mes$$

Por último, y una vez que obtuvimos el valor de  $ETPTho = 61.36mm/mes$  transformamos la  $ETPTho$  mensual a días, como recordamos este cálculo lo hicimos para el mes de junio y este mes tiene 30 días, pero depende del mes es la cantidad de días que se pone en la fórmula, así la  $ETPTho$  diaria se obtiene con la siguiente fórmula:

$$ETPThoDia = \frac{ETPTho}{Ndi}$$

Donde Ndi= número de días del mes

ETPTho = Evapotranspiración de referencia

Sustitución del mes de junio

$$ETPThoDia = \frac{61.38mm}{30}$$

$$ETPThoDia = 2.05mm$$

Una vez que se obtiene este dato se puede obtener la evapotranspiración del cultivo que estamos trabajando lo cual se muestra como se hace a continuación.

## La Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo (ETc) es la cantidad de agua que se pierde por evaporación del suelo y transpiración de las plantas en un campo cultivado. Es un componente importante del balance hídrico y se utiliza para determinar la cantidad de agua que se necesita para regar un cultivo.

### Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) es un factor que se utiliza en la agricultura para calcular la evapotranspiración de un cultivo específico. Se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas, el Kc permite calcular el consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular a partir de la evapotranspiración.

Aunque en internet existen formas de calcular este coeficiente también existen manuales que contienen gran variedad de estos coeficientes y ya no es necesario calcularlo en la tabla 11 hay una lista con algunos cultivos y sus Kc.

Hortalizas				Frutales			
Cultivo	Etapa Fenológica	Días	Kc	Variedad	Etapa Fenológica	Días	Kc
Maíz	Siembra-Emergencia	10	0.3	Oro Azteca	Siembra-Brotación	15	0.4
Maíz	Desarrollo Vegetativo	30	0.7	Oro Azteca	Desarrollo Vegetativo	60	0.75
Maíz	Floración-Llenado de Grano	45	1.1	Oro Azteca	Floración-Fructificación	45	1.1
Maíz	Maduración	30	0.7	Oro Azteca	Maduración	30	0.85
<b>Total</b>		<b>115</b>	<b>2.8</b>	<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>3.1</b>
Frijol	Siembra-Emergencia	10	0.3	Diamante	Siembra-Brotación	15	0.45
Frijol	Desarrollo Vegetativo	30	0.6	Diamante	Desarrollo Vegetativo	60	0.8
Frijol	Floración-Llenado de Vaina	45	0.8	Diamante	Floración-Fructificación	45	1.2
Frijol	Maduración	30	0.5	Diamante	Maduración	30	0.9
<b>Total</b>		<b>115</b>	<b>2.2</b>	<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>3.35</b>
Trigo	Siembra-Emergencia	10	0.3	Naranja	Siembra-Brotación	15	0.45
Trigo	Desarrollo Vegetativo	30	0.7	Naranja	Desarrollo Vegetativo	60	0.8
Trigo	Encañado-Floración	30	1	Naranja	Floración-Fructificación	45	1.2
Trigo	Maduración	30	0.6	Naranja	Maduración	30	0.9
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>2.6</b>	<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>3.35</b>
Sorgo	Siembra-Emergencia	10	0.3	Manzana	Siembra-Brotación	15	0.4
Sorgo	Desarrollo Vegetativo	30	0.7	Manzana	Desarrollo Vegetativo	60	0.75
Sorgo	Floración-Llenado de Grano	45	1.1	Manzana	Floración-Fructificación	45	1.1
Sorgo	Maduración	30	0.7	Manzana	Maduración	30	0.85
<b>Total</b>		<b>115</b>	<b>2.8</b>	<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>3.1</b>
Tomate	Siembra-Trasplante	15	0.4	Aguacate	Siembra-Brotación	15	0.45
Tomate	Desarrollo Vegetativo	30	0.7	Aguacate	Desarrollo Vegetativo	60	0.8
Tomate	Floración-Fructificación	60	1	Aguacate	Floración-Fructificación	45	1.2
Tomate	Maduración	30	0.8	Aguacate	Maduración	30	0.9
<b>Total</b>		<b>135</b>	<b>2.9</b>	<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>3.35</b>

Tabla 11 Kc de algunos cultivos.

Para el calcular la evapotranspiración de nuestro cultivo se obtiene mediante la formula:

$$ETc = Kc \times ET_0$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm.día<sup>-1</sup>)

Kc = Coeficiente del cultivo

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.día<sup>-1</sup>).

Para este ejemplo usaremos el cultivo de Maíz y el cultivo de durazno diamante con valores de Kc, estos dependerán de la etapa fenológica en que se encuentre nuestras plantas y el mes de siembra, así como los días que tarda cada etapa fenológica.

### Maíz

Iniciamos con el Maíz este se siembra en el mes de junio y la sustitución de la fórmula quedaría de la siguiente forma, recordando que en las operaciones pasadas ya obtuvimos los valores necesarios para esta operación los cuales son Kc del maíz según tablas en sus etapas es Kci = 0.3 KcD = 0.7 KcF= 45 y KcM= 0.7 así como el resultado de nuestra ETo la cual da un resultado de 2.05mm.día y la sustitución queda de la siguiente manera

#### Etapa de Siembra-brotación

$$ETc = 0.3 \times 2.05mm$$

$$ETc = 0.61mm$$

Duración de la etapa fenológica (10 días): *ETc de la etapa = 10días × 0.61mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 6.15mm \times planta$$

Esta operación se realiza con todas las etapas fenológicas de la siguiente manera:

#### Desarrollo Vegetativo

$$ETc = 0.7 \times 1.59$$

$$ETc = 1.11$$

Duración de la etapa fenológica (30 días): *ETc de la etapa = 30días × 1.11mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 33.39mm \times planta$$

#### Floración-Llenado de Grano

$$ETc = 1.1 \times 1.45$$

$$ETc = 1.59$$

Duración de la etapa fenológica (30 días): *ETc de la etapa = 45días × 1.59mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 71.775mm \times planta$$

#### Maduración

$$ETc = 0.7 \times 1.21$$

$$ETc = 0.84$$

Duración de la etapa fenológica (30 días): *ETc de la etapa = 30días × 25.2mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 25.2mm \times planta$$

### Consumo total

Etapa de Siembra-brotación

$$Etc de la etapa = 6.15mm \times planta$$

Desarrollo Vegetativo

$$Etc de la etapa = 33.39mm \times planta$$

Floración-Llenado de Grano

$$Etc de la etapa = 71.775mm \times planta$$

Maduración

$$Etc de la etapa = 25.2mm \times planta$$

Total

$$Etc Total por planta = 136.51mm \times planta$$

Si queremos saber cuánto gastaremos por Hectárea solo tenemos que saber la densidad de siembra la cual se obtiene con una sencilla formula que es:

$$Densidad de siembra = \frac{10000m}{(Distancia entre filas) \times (Distancia entre plantas)}$$

Usando la distribución más general para maíz que es una distancia entre plantas de 30 cm y una distancia entre filas de 80cm la formula quedaría de esta forma:

$$Densidad de siembra = \frac{10000m}{(.8m) \times (.3m)}$$
$$Densidad de siembra = 41667 plantas \times Ha$$

El conocer nuestra densidad de siembra nos lleva a conocer cuánta agua gastamos por hectárea multiplicando la densidad por los mm de evapotranspiración de la tu cultivo este dato se obtiene con la siguiente multiplicación:

$$Riego Total \times Ha = Densidad de siembra \times Etc total por planta$$
$$Riego Total \times Ha = 41667 plantas \times Ha \times 136.51mm$$

$$\underline{Riego Total \times Ha = 5,687,910.6 mm de agua \times Ha \times ciclo de maíz}$$

### Conversión a m<sup>3</sup>

$$Riego Total \times Ha m^3 = \frac{5,687,910.6mm}{1000}$$

$$\underline{Riego Total \times Ha m^3 = 5,687.91m^3}$$

## Durazno variedad diamante

Tenemos que tomar en cuenta que el proceso que aquí se ejemplifica es para árboles la etapa máxima productiva. Para el calcular la evapotranspiración de nuestro cultivo se obtiene mediante la formula:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm.día -1)

Kc = Coeficiente del cultivo

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.día -1).

Iniciamos con el Maíz este se siembra en el mes de junio y la sustitución de la formula quedaría de la siguiente forma

Substitución

Se inicia en **Marzo**

### Etapa de Siembra-brotación

$$ETc = 0.55 \times 1.39$$

$$ETc = 0.76mm$$

Duración de la etapa fenológica (10 días): *ETc de la etapa = 30días × 0.76mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 22.93mm \times planta$$

**Abril**

Desarrollo Vegetativo

$$ETc = 0.9 \times 1.81$$

$$ETc = 1.62$$

Duración de la etapa fenológica (30 días): *ETc de la etapa = 50días × 1.62mm*

$$ETc \text{ de la etapa} = 81.45mm \times planta$$

### **Floración – Fructificación**

La pructificación dura aprox 4 meses entonces se tiene que multiplicar el Kc por la ETo de 4 meses diferentes lo cual quedaría asi

**Junio**

$$ETc = 0.9 \times 2.05$$

$$ETc = 1.84$$

$$ETc \text{ junio} = 1.84 \times 30días$$

$$ETc \text{ junio} = 55.2mm$$

**Julio**

$$ETc = 0.9 \times 1.59$$

$$ETc = 1.43$$

$$ETc \text{ julio} = 1.43 \times 31 \text{ dias}$$

$$ETc \text{ julio} = 44.36mm$$

#### Agosto

$$ETc = 0.9 \times 1.45$$

$$ETc = 1.3$$

$$ETc \text{ agosto} = 1.3 \times 31 \text{ dias}$$

$$ETc_{\text{agosto}} = 40.45mm$$

#### Septiembre

$$ETc = 0.9 \times 1.21$$

$$ETc = 1.08$$

$$ETc \text{ agosto} = 1.08 \times 30 \text{ dias}$$

$$ETc_{\text{agosto}} = 32.4mm$$

Duración de la etapa fenológica (130 días):  $ETc \text{ de la etapa} = 172.41mm$

#### Octubre

##### Maduración

$$ETc = 0.65 \times 1.09$$

$$ETc = 0.7$$

Duración de la etapa fenológica (30 días):  $ETc \text{ de la etapa} = 31 \text{ dias} \times 0.7mm$

$$ETc \text{ de la etapa} = 21.96mm \times \text{planta}$$

#### Consumo total

##### Etapa de Siembra-brotación

$$ETc \text{ de la etapa} = 22.93mm \times \text{planta}$$

##### Desarrollo Vegetativo

$$ETc \text{ de la etapa} = 81.45mm \times \text{planta}$$

##### **Floración – Fructificación**

$$ETc \text{ de la etapa} = 172.41mm$$

##### Maduración

$$ETc \text{ de la etapa} = 21.96mm \times \text{planta}$$

##### Total,

$$ETc \text{ Total por planta} = 298.75 \text{ mm} \times \text{planta}$$

Si queremos saber cuánto gastaremos por Hectárea solo tenemos que saber la densidad de siembra la cual se obtiene con una sencilla formula que es:

$$\text{Densidad de siembra} = \frac{10000m}{(\text{Distancia entre filas}) \times (\text{Distancia entre plantas})}$$

Usando la distribución más general que es una distancia entre arboles es de 3m y una distancia entre filas de 4m la formula quedaría de esta forma:

$$\text{Densidad de siembra} = \frac{10000m}{(4m) \times (3m)}$$
$$\text{Densidad de siembra} = 833 \text{ arboles} \times \text{Ha}$$

El conocer nuestra densidad de siembra nos lleva a conocer cuánta agua gastamos por hectárea este dato se obtiene con la siguiente multiplicación:

$$\text{Riego Total} \times \text{Ha} = \text{Densidad de siembra} \times \text{Etc total por planta}$$
$$\text{Riego Total} \times \text{Ha} = 833 \text{ arboles} \times \text{Ha} \times 298.75\text{mm}$$

$$\underline{\text{Riego Total} \times \text{Ha} = 248, 858.75 \text{ mm} \times \text{Ha} \times \text{ciclo del Durazno}}$$

Conversión a m<sup>3</sup>

$$\text{Riego Total} \times \text{Ha} \text{ m}^3 = \frac{248, 858.75 \text{ mm}}{1000}$$

$$\underline{\text{Riego Total} \times \text{Ha} \text{ m}^3 = 248.85\text{m}^3}$$

Cuando terminamos de obtener todos nuestros resultados solo nos queda juntar los datos y saber cuánta agua se suministrará de la lluvia y cuanta tendremos que conseguir para completar nuestro riego:

Maíz

$$\underline{\text{Riego Total} \times \text{Ha} \text{ m}^3 = 5,687.91\text{m}^3}$$

Durazno

$$\underline{\text{Riego Total} \times \text{Ha} \text{ m}^3 = 248.85\text{m}^3}$$

Cantidad de Agua recolectada en nuestro espacio destinado

$$\underline{67.56 \text{ mm en todo el año}}$$

Esto quiere decir que en el cultivo de Maíz la lluvia en la zona de Milpa alta con un área de captación de 125m<sup>2</sup> nos dará el 1.19% de agua de riego, mientras que este mismo espacio

supliría el 27.15% de agua en el cultivo de durazno, estas dimensiones son ejemplos para poder se llevaros a la realidad de las parcelas.

Métodos de riego y su eficiencia:

Método de Riego	Eficiencia (%)	Descripción
Riego por goteo	80 - 95	El agua se aplica directamente a la zona de las raíces de las plantas a través de una red de tuberías y emisores. Es el método más eficiente.
Riego por aspersión	65 - 80	El agua se aplica en forma de lluvia artificial sobre la superficie del suelo y las plantas. Es un método eficiente, pero puede ser susceptible a la evaporación y el viento.
Riego por surcos	50 - 70	El agua se aplica a través de surcos o canales que se hacen en el suelo. Es un método menos eficiente que los anteriores, pero es más fácil de implementar y requiere menos inversión.
Riego por inundación	40 - 60	El agua se aplica al suelo inundando la parcela. Es un método poco eficiente, pero es muy utilizado en zonas con mucha agua disponible.

Tabla 12 Métodos de riego y su eficiencia

La captación de agua implica varios componentes y consideraciones técnicas. Aquí te proporciono un resumen basado en varias fuentes<sup>1234567</sup>:

## Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL):

**Captación:** El área de captación es generalmente el techo de la vivienda, invernadero, granero, etc. Debe ser de materiales que minimicen la contaminación del agua.

### Recolección y conducción:

Se utilizan canaletas y tuberías para dirigir el agua hacia el tanque de almacenamiento.

### Filtros

Son necesarios para limpiar el agua antes de almacenarla<sup>4</sup>. Los dispositivos filtrantes de contaminantes son esenciales. Existen varios tipos de filtros que se pueden utilizar en los sistemas de captación de agua de lluvia.

**Filtros de tejado:** Son el primer paso en el proceso de filtración del agua de lluvia.

**Filtros de sedimentos:** Se utilizan después del filtro de tejado para eliminar partículas más finas.

**Filtros de carbón activado:** Son ampliamente utilizados para eliminar contaminantes químicos y mejorar el sabor y el olor del agua de lluvia.

**Filtros de osmosis inversa:** Eliminan metales pesados y otras sustancias.

**Filtros de luz ultravioleta:** Son rápidos y fáciles de usar, eliminando microorganismos al instante.

**Filtros de ozono:** Son relativamente rápidos en la eliminación de microorganismos.

Es importante destacar que estos tipos de filtros pueden usarse en combinación, dependiendo de la calidad del agua de lluvia y las necesidades específicas.

Por ejemplo, un sistema de filtración completo puede incluir un filtro de tejado, seguido de un filtro de sedimentos, un filtro de carbón activado y, finalmente, un filtro UV.

#### **Almacenamiento:**

El agua se almacena en un tanque o cisterna. Los materiales del depósito o tanque de almacenamiento de agua de lluvia son importantes.

#### **Tipos de sistemas de almacenamiento de agua:**

Existen diferentes tipos de estructuras de almacenamiento de agua, como tanques de almacenamiento, cisternas, tinacos y tubos verticales.

#### **Mantenimiento de los sistemas de captación de agua:**

Es importante realizar una limpieza regular de los filtros y el sistema de tuberías para evitar obstrucciones y asegurar un flujo de agua adecuado. También es necesario realizar inspecciones visuales periódicas para detectar cualquier daño en el sistema.

#### **Cómo seleccionar correctamente el sistema de almacenamiento para la captación de agua:**

Para diseñar e instalar un SCALL, se deben considerar varios aspectos, como la estimación de la precipitación disponible en la zona, el cálculo de la demanda de agua del sistema productivo, el dimensionamiento del área de captación y del tanque de almacenamiento, y la selección de los materiales y componentes del sistema. La distancia entre el área de captación y el lugar de almacenamiento también es un factor importante.

## Referencias

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). **Guía de la OMM sobre la gestión de los recursos hídricos con escasez**. (p. 15). Disponible en: [La Organización Meteorológica Mundial acomete una nueva estrategia sobre hidrología y recursos hídricos | Organización Meteorológica Mundial \(wmo.int\)](#) Consultado el [].
- **FAO**. (2012). Manual de Riego y Drenaje. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de [https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_5\\_Manual\\_de\\_Riego\\_y\\_Drenaje..pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_5_Manual_de_Riego_y_Drenaje..pdf)
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA). Edición OCTUBRE DE 2007.
- G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 15(1), 16-23.
- Acosta, S. J., Herrera, J. A. Q., & Solis, J. V. (2018). Captación de agua de lluvia: tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (3), 63-86.
- Bustos, M. E. R., Lugo, L. G., & Domínguez, J. N. B. (2016). Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en vivienda y comunidad rural, Pátzcuaro, Michoacán. Atl: El portal del agua desde México.