

Capítulo 4

Memoria de cálculos hidrológicos, para la captación de aguas lluvias desde la techumbre de una casa

David Mora López Ingeniero Agrónomo
Cristian Aguirre Aguilera Ingeniero Agrónomo, INIA
Jorge Carrasco Jiménez Dr. Ingeniero Agrónomo, INIA

[4.1] Introducción

Las precipitaciones corresponden a uno de los elementos climáticos que de manera más directa influye en la configuración del medio natural, donde su distribución, tanto temporal como espacial, condiciona los ciclos productivos, por lo que es un elemento vital para el asentamiento de poblaciones humanas, que basan su quehacer productivo en ellas. Por lo tanto, el aprovechamiento y conservación del recurso hídrico se transforma, en una prioridad como medio de subsistencia en las áreas rurales de secano. La competencia por este recurso se basa en satisfacer, en primer lugar, la demanda de consumo humano, y en segundo lugar el excedente para la producción agrícola y ganadera.

El presente trabajo tiene por objetivo determinar el caudal cosechado en base a la probabilidad de ocurrencia de la máxima precipitación caída en 1 hora sobre una superficie de techo de una casa de 60 m² (6 x 10 m), y en base a dicho valor, determinar la capacidad de conducción de una canaleta de PVC que llevará el agua cosechada a un estanque de acumulación, evitando de esta manera que la canaleta se sature cuando ocurran eventos de grandes lluvias, aumentando así la eficiencia del sistema.

El método para determinar el caudal cosechado, en un evento de máxima precipitación ocurrido en 1 hora, requiere de datos meteorológicos que pueden ser descargados de la página web www.dga.cl, en el link “estadística hidrológica en línea”, donde se pueden descargar los datos de diversas estaciones meteorológicas repartidas por el territorio nacional (ver anexo 1 en bibliografía). La metodología utilizada se describe a continuación.

[4.2] Estudio hidrológico Curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias

Una forma de caracterizar las precipitaciones, lo constituye la intensidad de precipitación, que representa la cantidad de agua caída en función del tiempo, expresada normalmente en mm/h. De este modo, es posible relacionar dicha intensidad con la frecuencia con que ocurre y con la duración, a través de técnicas estadísticas que relacionan estas tres variables, obteniéndose así las curvas **Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF)**, las que están construidas en base a intensidades máximas.

Con el objeto de determinar las máximas precipitaciones que puedan caer en un área determinada, y que condicionan el agua a colectar en las canaletas, además, para conocer el comportamiento del sistema colector frente

a las máximas precipitaciones en una zona determinada, se definieron las llamadas curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias (curvas IDF). Estas son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978). Dichas curvas son útiles, para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas, esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída. En este caso se determinará la máxima precipitación caída en una superficie de techo, ocurridas con una duración de 1 hora y en un tiempo de retorno de 2 años, por lo cual no se presentaron las curvas completas, solo el valor para el punto ya indicado.

La obtención de esta familia de curvas necesita de registros pluviográficos continuos, los cuales son escasos y poco extensos. Debido a que lo más común es contar con bastantes registros pluviométricos, los cuales solo entregan observaciones de lluvias diarias (24 horas), se han realizado estudios que han determinado la relación existente entre la lluvia caída y su duración, como una forma de obtener una estimación para las lluvias de duración menor a 24 horas en función de las lluvias diarias. El método utilizado se ha obtenido de la guía de diseño (MINVU, 1996).

Este procedimiento requiere de dos etapas. Primero es necesario obtener una estimación de la lluvia diaria, representativa del lugar de interés, asociada a un período de retorno dado, normalmente de 10 años. Luego, a partir de este valor se estimarán los valores asociados a la lluvia caída en una hora de duración, y por un período de 2 años, utilizando para ello los coeficientes de duración y de frecuencia, determinados en la guía antes indicada.

Los coeficientes de duración, se definen como la razón entre la lluvia de una intensidad dada y la lluvia diaria, siendo ambas de la misma frecuencia

(se refiere al periodo de ocurrencia de un evento determinado). Los coeficientes de frecuencia, se definen como la razón entre la lluvia de una determinada frecuencia y la lluvia de 10 años, de período de retorno de la misma duración.

El **periodo de retorno (T)** es una representación usada comúnmente, para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento de lluvia en un periodo determinado.

Para el cálculo de la lluvia diaria de 10 años, de período de retorno en base a datos del lugar de interés, se debe recopilar la información de lluvias máximas diarias (24 horas) registradas en la estación pluviométrica más cercana al lugar de interés, formándose así una serie anual de lluvias máximas diarias, seleccionando del registro anual el día más lluvioso de cada año (**Cuadro 4.1**). Esta muestra debe ser sometida a un estudio de frecuencia, ajustándole a la muestra un modelo probabilístico o bien, asociando a la muestra una frecuencia empírica (**Cuadro 4.2**).

En el caso que, tanto la estación pluviométrica como el punto de interés (donde se requiere determinar la precipitación máxima), se encuentren entre isoyetas de diferente valor de pluviometría, será necesario realizar una interpolación y una extrapolación de datos, entre los valores de la estación y el punto de interés (definido como "factor" en el Cuadro 4.1). A modo de ejemplo se describirá dicha metodología en la presentación de resultados. Una isoyeta, también llamada isolínea, curva de nivel o isograma, es una curva que conecta los puntos donde una función posee un mismo valor constante.

El comportamiento de las variables aleatorias discretas o continuas, se describen con la ayuda de Distribuciones de Probabilidad. En consecuencia, se plantea la utilización de la Ley de Distribución de Gumbel (Aparicio, 1992), dado que ella ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste, a valores máximos de caudales y precipitación, en distintos períodos de tiempo, permitiendo evaluaciones anuales (Pizarro et al., 1986).

[4.2.1] Definición de la Función de Gumbel

Una variable aleatoria **E** sigue una distribución de probabilidad de Gumbel (Aparicio, 1992), si:

Ecuación 1

$$f(x) = e^{-\frac{x-u}{\theta}} - e^{-\frac{x-u}{\theta}}$$

Donde **x** presenta el valor a asumir por la variable aleatoria, con **θ** y **μ** parámetros y base de los logaritmos neperianos. Despejando **x** de la ecuación 1, queda:

Ecuación 2

$$x = \mu - \frac{\ln(-\ln f(x))}{\theta}$$

Para la determinación de los parámetros **θ** y **μ**, se utilizan las siguientes expresiones que los definen:

Ecuación 3

$$\mu = \bar{x} - 0,450047 \times \sigma$$

Ecuación 4

$$\theta = \frac{1}{0,779696 \times \sigma}$$

Donde:

x̄: Media aritmética de la serie de datos considerados.

σ: Desviación típica de la muestra de datos considerados.

Los valores **0,450047** y **0,779696**, son válidos para un número de cincuenta datos. Sin embargo, Heras R. (2001), los señala como admisibles para cualquier tamaño de población, en virtud de la escasa relevancia que poseen. Luego, es posible determinar la función de Gumbel, con la información entregada precedentemente.

De la ecuación 2, se desprende que es posible encontrar, para una probabilidad determinada, un valor para la variable aleatoria. Así, si se le aplica una probabilidad, de a lo menos de un factor **0,9**, para llegar a obtener un valor **K**, que implica que en el **90%** de los casos, se esperará un valor de **x < K**.

[4.2.2] Bondad de Ajuste

Se entiende por bondad de ajuste, la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida. A través de esta, es posible predecir el comportamiento de la variable en estudio (Pizarro et al., 1986). Para establecer la bondad del ajuste, se utilizó el Coeficiente de Determinación (**R²**), que permite determinar la calidad del modelo utilizado.

Este se encuentra definido por la siguiente expresión:

Ecuación 5

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y \text{ estimada} - \bar{Y})^2}{\sum(Y \text{ observada} - \bar{Y})^2}$$

Donde:

R²: Coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$.

Y: Media de las frecuencias observadas y estimadas.

Ecuación 6

$$s = \frac{\sum (Y)}{n}$$

Donde:

s: Desviación de la media.

$\sum Y$: Sumatoria de valor observado.

n: Total de observaciones.

El coeficiente de determinación señala qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas, es explicada por las frecuencias estimadas acumuladas.

Por otra parte, para obtener la frecuencia observada acumulada, en el caso especial de Gumbel, se ordena la información de menor a mayor y se aplica:

Ecuación 7

$$Fn = \frac{n}{N + 1}$$

Donde:

Fn: frecuencia observada acumulada.

n: n° total en el orden dato.

N: n° total de datos.

Asimismo, reemplazando en la ecuación 1 los valores de χ , se obtienen las frecuencias estimadas acumuladas.

[4.2.3] Determinación de la probabilidad

Para conseguir definir la probabilidad implícita es preciso consignar dos conceptos previos, que son el período de retorno y la probabilidad de excedencia.

Período de Retorno: se define como el tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales.

Sea ese tiempo = **T**.

Probabilidad de Excedencia ($J(\chi)$): es la probabilidad asociada al período de retorno.

Donde T, corresponde al tiempo de retorno considerado:

Ecuación 8

$$J(\chi) = \frac{1 - 1}{T}$$

De acuerdo a las ecuaciones indicadas, para determinar la máxima precipitación en 24 horas, asociados a un período de retorno y a una probabilidad, se aplica la ecuación 2.

Para la estimación de lluvias para duraciones entre 1 y 24 horas, se utilizaron los **coeficientes de duración (CD)** y **coeficientes de frecuencia (CF)** determinados por Varas y Sánchez (1984), para nuestro territorio.

Los **Coeficientes de Duración (CD)** calculados para duraciones entre 1 y 24 horas varían entre 0,12 y 0,20 con un promedio de 0,16 y una desviación típica de 0,03.

El CF se definió como la razón entre la lluvia asociada a un cierto período y la lluvia de igual duración para un período de retorno de 10 años. Estos coeficientes coinciden en buena medida con los sugeridos por el MINVU (1996).

La información anterior puede utilizarse para estimar las curvas IDF en un lugar del territorio chileno, en base a la lluvia máxima diaria de acuerdo a la siguiente expresión:

Ecuación 9

$$PP_t = 1,1 PD^{10} \times CD_t \times CF^T$$

Donde:

PP: Lluvia con período de retorno de **T** años y duración **t** horas.

PP¹⁰: Lluvia máxima diaria de 10 años de período de retorno.

CD: Coeficiente de duración para **t** horas (entre 1 y 24 horas).

CF: Coeficiente de frecuencia para **T** años de período de retorno.

Esta expresión, es válida para lluvias de 1 a 24 horas de duración, en la zona estudiada. La aplicación del método solo requiere realizar un análisis de frecuencia de las lluvias diarias, para calcular la lluvia máxima con 10 años de período de retorno, o bien elegir el valor correspondiente de los mapas publicados por la Dirección General de Aguas. Posteriormente, se seleccionan los coeficientes de duración y de frecuencia que sean aplicables al lugar de interés. El procedimiento es válido para las zonas Central y Sur de Chile, porque entrega estimaciones de lluvia adecuadas para diseños hidráulicos, en áreas donde la información de precipitaciones es escasa, utilizando para ello los valores determinados por Varas y Sánchez (1984).

[4.3] Balance hídrico

Con el objeto de determinar el comportamiento del sistema de cosecha de aguas lluvias propuesto (techumbre de 60 m²) frente a las precipitaciones ocurridas en las zonas en estudio, se presenta un balance hídrico que se relaciona con el volumen de agua cosechada, además del volumen de agua utilizada por un invernadero de 40 m². En el ejemplo, se consideró el cultivo de tomate indeterminado, como especie en producción.

[4.4] Diseño y cálculos hidráulicos

Una vez que se obtiene la intensidad de precipitación (**PPTt**), para un determinado tiempo de retorno y duración, se procede a determinar el caudal que caerá en la canaleta, **para lo cual se**

usará el método utilizado para el diseño de canales, que se describe a continuación:

[4.4.1] Caudal en la canaleta

La mayoría de los métodos usados para determinar el caudal, utilizan la siguiente expresión:

Ecuación 10

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q: Caudal (l/s).

V: Velocidad con que circula el agua (m/s).

A: Área de la sección que atraviesa el líquido (m²).

Aplicando la fórmula de "Manning", podremos relacionar la forma del canal con la velocidad que un determinado caudal escurrirá por ella.

Ecuación 11

$$V(\text{m/s}) = \frac{(R^{2/3} \times S^{1/2})}{n}$$

Donde:

V: Velocidad del agua.

R: radio hidráulico (área/perímetro mojado).

S: Área de la sección que atraviesa el líquido (m²).

n: Coeficiente de rugosidad. Dependiente del material de construcción del canal (0,011 para PVC).

Considerando que la canaleta utilizada se asimila a un canal de sección semicircular, **entonces se determinará el caudal en base a parámetros de dicha figura, donde:**

Ecuación 12

$$\text{Área} = \pi \times \frac{R^2}{2}$$

Donde:

π : 3,14159

Ecuación 13

$$\text{Perímetro mojado} = \pi \times R$$

Ecuación 14

$$\frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{\text{Perímetro mojado (m)}}$$

Debido a que se considera la utilización de canaletas de PVC, entonces sus características geométricas con fines de cálculo, son las siguientes:

Ancho canaleta (m)	0,122
Largo canaleta (m)	10
Radio (m)	0,048
Área (m ²)	0,003619
Perímetro mojado (m)	0,15
Radio hidráulico (m)	0,024

En base a la superficie de captación, de una techumbre de (60 m²), se determinará el caudal de agua que captará la canaleta, y se realizará una comparación con el que ésta es capaz de conducir, lo cual está determinado por la pendiente que posea esa canaleta, y que finalmente entrará al estanque acumulador del agua.

[4.5] Presentación de resultados

La propuesta de unidad de cosecha de aguas lluvias, considera lo siguiente:

- Un invernadero de 40 m².
- Un estanque acumulador de 10.000 litros (10 m³).
- Un sistema de cosecha de aguas lluvias, conformado por un kit de canaletas de PVC que conducirán el agua desde los techos hasta el estanque.

Los resultados se presentan en el mismo orden, de acuerdo a la secuencia de la metodología descrita. **Es importante trabajar los datos en una planilla Excel, para facilitar la obtención de resultados.**

[4.5.1] Predio ubicado en Litueche

Región: Libertador Bernardo O'Higgins
Provincia: Cardenal Caro
Comuna: Litueche
Coordenadas: 248630 E, 6222439 N

A. Estudio hidrológico

Estación Meteorológica Litueche

UTM: 248584 E, 6221061 N

Latitud: 34° 07' 14"

Longitud: 71° 43' 33"

Altura: 250 m.s.n.m

Cuadro 4.1.

Precipitaciones máximas en 24 horas por año, Estación meteorológica Litueche

Años	Precipitaciones máximas en 24 horas
2010	60
2011	40
2012	182
2013	62
2014	101
2016	68
2017	53,5
2018	78
2019	52
media (x)	77,95
Desviación (σ)	40,51
μ	59,718
δ	0,032

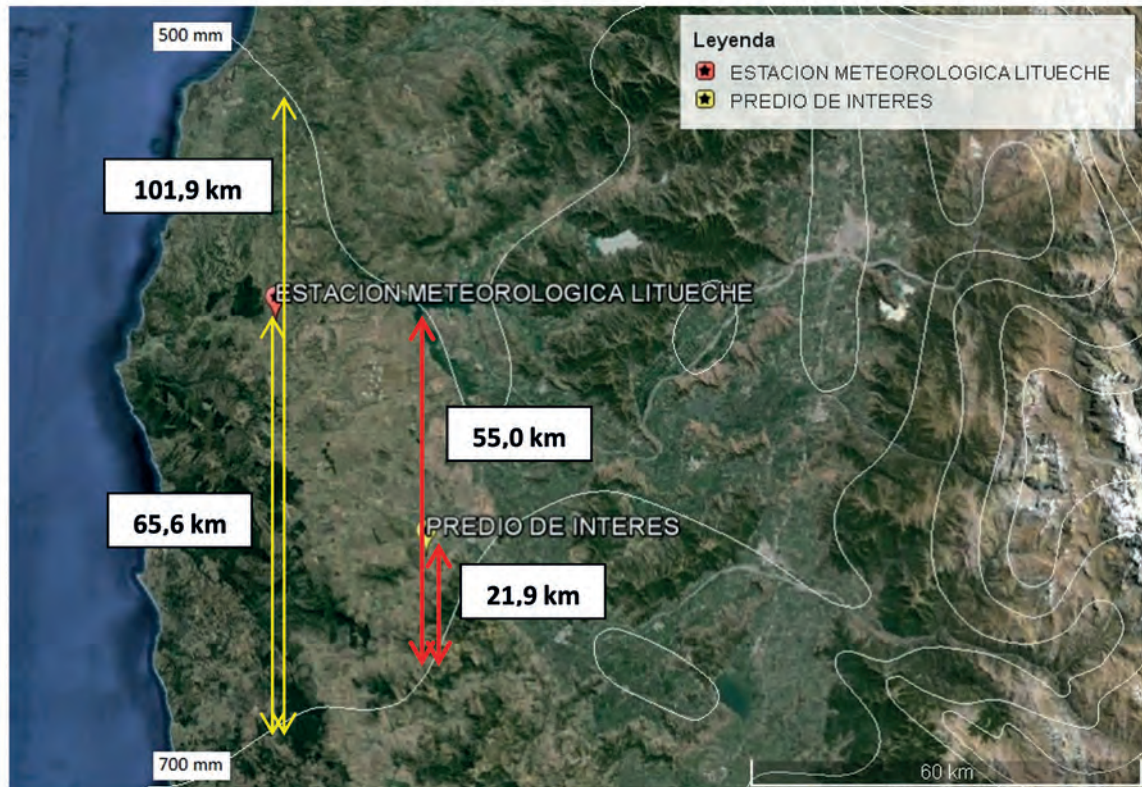


Figura 4.1. Mapa de isótopas generadas a partir de datos de precipitaciones de la estación meteorológica del Centro Experimental INIA Hidango, comuna de Litueche.

Con los datos de precipitaciones máximas se determinan primeramente la media, la desviación estándar, y los parámetros de Gumbel (μ y θ) (ecuación 3 y 4, respectivamente).

Posteriormente se deben ordenar los datos de menor a mayor para determinar la frecuencia observada acumulada, en el caso especial de Gumbel, aplicando la Ecuación 7.

Sin embargo, como ya se ha mencionado con anterioridad, si la estación meteorológica y el punto de interés donde se quiere determinar la máxima precipitación, se encuentran en isótopas de distinto valor entonces debemos interpolar los datos y luego extrapolarlos a los datos del punto de interés.

La metodología es la siguiente, figura 4.1.

De acuerdo a la Figura 4.1, donde se muestra la estación utilizada y el punto de interés donde deseamos obtener la máxima precipitación en

1 hora, se puede observar que ambos puntos se encuentran entre las mismas isótopas, las que tienen diferente valor de precipitación. Sin embargo, la estación se encuentra más cercana a aquella de valor 500 mm, mientras que el punto de interés se encuentra más cercana a la isótopa de valor 700 mm, lo cual evidentemente indica que existen diferencias en las precipitaciones entre ambos puntos.

El método utiliza una regla de tres simple, donde la incógnita a despejar es el valor de precipitación de una isótopa que pasa por un punto de interés. El primer paso es determinar, mediante una línea recta en el mismo sentido para ambos puntos en cuestión, las distancias y diferencias de valor entre las isótopas. Luego mediante la misma operación dejar como incógnita (χ) el valor de precipitación de la isótopa buscada y utilizar la distancia entre el punto de interés y la isótopa de mayor valor.

Determinación del valor de la isolínea en la estación meteorológica:

Valor de isolíneas: 700 mm y 500 mm
 Distancia entre isolíneas: 101,9 km
 Distancia entre estación e isolínea 700 mm: 65,6 km

Operación

$$\frac{700 - 500}{101,9} = \frac{700 - \chi}{65,9} = 571,2$$

Determinación del valor de la isolínea en el punto de interés:

Valor de isolíneas: 700 mm y 500 mm
 Distancia entre isolíneas: 55,0 km
 Distancia entre estación e isolínea 700 mm: 21,9 km

Factor conversión

$$\frac{620,4}{571,2} = 1,08$$

El factor obtenido lo multiplicaremos por cada uno de los datos de precipitación y procederemos a determinar las frecuencias para la bondad de ajuste Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2
Precipitaciones máximas en 24 horas y parámetros de coeficiente de correlación R²

pp máxima en 24 h	Factor		Frecuencia observada	Frecuencia estimada
		1,08		
1	40	43,2	0,09091	0,18507
2	52	56,16	0,18182	0,32653
3	53,5	57,78	0,27273	0,34532
4	60	64,8	0,36364	0,45153
5	62	66,96	0,45455	0,63123
6	68	73,44	0,54545	0,67586
7	78	84,24	0,63636	0,63123
8	83	89,64	0,72727	0,67856
9	101	109,08	0,81818	0,81094
10	182	109,08	0,90909	0,98695

En el Cuadro 4.2 se ordenaron los datos de menor a mayor y se multiplicaron por el factor de conversión antes determinado. Una vez con los datos obtenidos se aplicó la ecuación 7 para obtener la frecuencia observada y la ecuación 1 para obtener la frecuencia estimada

Una vez obtenidos los valores de frecuencia, aplicamos la ecuación 5 para determinar el **Coficiente de Determinación (R²)** para determinar la calidad del modelo utilizado.

Así el valor de R² es:

R ²	0,96
----------------	------

Este valor nos indica que los datos están bien representados por el modelo utilizado. Mientras más cercano a 1 mayor es su grado de ajuste.

Una vez que tenemos certeza de la representatividad del modelo utilizado, procedemos a determinar la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas para distintos periodos de retorno. Sin embargo, para la metodología utilizada es necesario determinar la probabilidad de precipitación máxima solo para un periodo de retorno de 10 años, posteriormente dicho valor será utilizado para determinar la precipitación máxima en 1 hora en un periodo de retorno dado. Las ecuaciones utilizadas en el Cuadro 4.3 corresponden a la ecuación 8 y 2 respectivamente.

Cuadro 4.3
Determinación de la Probabilidad de precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a un tiempo de retorno

Periodo de retorno (T)	$1 - 1/T = F(z)$	pp máxima en 24 horas
10	0,90	130,80
20	0,95	153,54
30	0,97	166,62
40	0,98	175,84
50	0,98	182,97
100	0,99	205,02

A continuación, se presentan los valores de coeficiente de duración y frecuencia determinados por Varas y Sánchez, que se encuentran en la guía “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos” (MINVU, 1996). A través de ellos, se llegará a obtener la máxima precipitación en periodos menores a 24 horas con un tiempo de retorno dado, utilizando la ecuación 9.

Para el ejemplo, se determinará la máxima precipitación en distintas horas, para un periodo de retorno de 2 años.

Cuadro 4.4
Coefficientes determinados por Varas y Sánchez (1984)

San Antonio	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Coef. duración	0,14	0,23	0,33	0,42	0,55	0,64	0,7	0,78	0,9	1

San Antonio	2	5	10	20	50	100	200
Coef. frecuencia	0,58	0,83	1	1,17	1,39	1,56	1,73

Por último, con el valor de máxima precipitación y los coeficientes antes presentados, se aplica la ecuación 9.

Cuadro 4.5
Coefficientes determinados por Varas y Sánchez (1984)

Duración (horas)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
pp (mm)	11,68	19,19	27,54	35,05	45,90	53,41	58,41	65,09	75,10	83,45
Int. (mm/h)	11,68	9,60	6,88	5,84	5,74	5,34	4,87	4,65	4,17	3,48

B. Balance Hídrico

La eficiencia de captación, fue definida considerando que, al momento de presentarse eventos de lluvias, estas comúnmente van acompañadas de vientos, a lo cual se suma la salpicadura de las gotas de lluvias, lo cual disminuye la cantidad de agua captada por una superficie de techo.

Con fines de cálculo se definieron los siguientes valores:

Cuadro 4.6 Parámetros utilizados para determinar el balance hídrico

Techo Promedio	60 m ²
Eficiencia de captación de agua	0,8 %
Eficiencia de aplicación del riego	0,85 %
Capacidad del estanque	10 m ³
Superficie de invernadero	40 m ²

Cuadro 4.7 Balance hídrico

	Total	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A
Precipitación (mm)	632,03	128,06	190,01	121,55	116,78	23,95	15,73	7,85	5,5	1,05	3,5	4,5	13,55
	1,08	138,3	205,21	131,27	126,12	25,87	16,99	8,48	5,94	1,13	3,78	4,86	14,63
Precipitación colectada con 80% eficiencia		110,64	164,17	105,02	100,9	20,7	13,59	6,68	4,75	0,9	3,02	3,89	11,7
Volumen de agua acumulada (m ³)		6,64	9,12	5,83	5,61	1,15	0,76	0,38	0,26	0,05	0,17	0,22	0,65
ETc diaria promedio (mm)		1,1	0,75	0,84	1,22	1,95	2,85	3,87	4,79	5,08	4,4	3,11	1,92
Demanda mensual (m ³)		1,56	1,06	1,19	1,72	2,75	4,02	5,46	6,76	7,17	6,22	4,39	2,71
Balance acumulador (m ³)		5,08	10	10	10	8,4	5,14	0,05	-6,5	-7,12	-6,05	-4,17	-2,06

Nota:

- Se utilizó un factor de 1,08 para la extrapolación de datos de la estación al punto de interés.
- Los valores destacados representan los meses en que la oferta hídrica no será capaz de satisfacer la demanda de agua dentro del invernadero.

C. Cálculos hidráulicos

Caudal de agua colectado

El presente supuesto, considera la colecta de agua desde un techo de 60 m² con una sola caída de agua. Las dimensiones del techo son de 10 x 6 m. Se considera la intensidad de precipitación determinada (11,68 mm/h), para los cálculos de caudal cosechado.

Cuadro 4.8. Pendiente mínima que soporta el caudal cosechado

Largo canaleta (m)	10
Desnivel canaleta (m)	0,007
Sup. Techumbre (m ²)	60
Caudal cosechado (l/s)	0,2
Máximo caudal (l/s)	0,2
V (m/s)	3,29
S (%)	0,07

V: Velocidad

S: Pendiente

Del cuadro 4.8, se desprende que para una canaleta de 10 m y una superficie de techo de 60 m², la precipitación máxima caída en 1 hora se puede conducir con una pendiente de canaleta mínima de 0,07%. Por el contrario, si aumentamos la pendiente entonces nuestra canaleta podrá conducir un mayor caudal (**Cuadro 4.9**).

Cuadro 4.9
Efecto de una mayor pendiente sobre la capacidad de conducción de la canaleta

Largo canaleta (m)	10
Desnivel canaleta (m)	0,02
Sup. Techumbre (m ²)	60
Caudal cosechado (l/s)	0,2
Máximo caudal (l/s)	1,07
V (m/s)	5,37
S (%)	0,2

Referencias bibliográficas

Aparicio, F. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa, grupo Noriega editores. México D.F, México. 302p.

Gumbel, E.J., 1958. Gumbel, E. J. Statistics of Extremes, Columbia University Press, 375 págs. New York, EUA. (1958). [Links].

Heras, R. 2001. Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas. Cooperativa de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) 1996. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. Chile. 670p.

Pizarro, R., Flores, J., Sanhueza, C., y Martínez, E. Módulo 1. Leyes de distribución de procesos hidrológicos. Sociedad Estándares de Ingeniería para Agua y Suelos Ltda. En: http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/a_modulo_leyes.pdf

Pizarro, R., Flores, J., Sanhueza, C., y Martínez, E. Modulo 2. Curvas Intensidad Duración Frecuencia. Sociedad Estándares de ingeniería para agua y suelos Ltda. Sociedad Estándares de Ingeniería para agua y suelos. En: http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf

Pizarro, R., Aravena, D., Macaya, K., Abarza, A., Cornejo, M. Labra, M., Pávez, M., Román, L. 2007. Programa Hidrológico Internacional de la Unesco, para América latina y El Caribe. PHI-VI / Documento Técnico N°7. 130p.

Pizarro, R. y Novoa, P., 1986, Instructivo N°5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78p.

Témez, J. ,1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid.España.111p.

Varas, E y Sánchez, S. (1984) Curvas generalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias. Apuntes de Ingeniería, N° 14, pp 73-90.

Anexo 1

Descarga de datos meteorológicos

Para la descarga de datos meteorológicos, fundamentales para el presente estudio, se debe ingresar a la página de oficial de la Dirección General de Aguas (www.dga.cl). En la página principal ir a "Información de recursos hídricos".