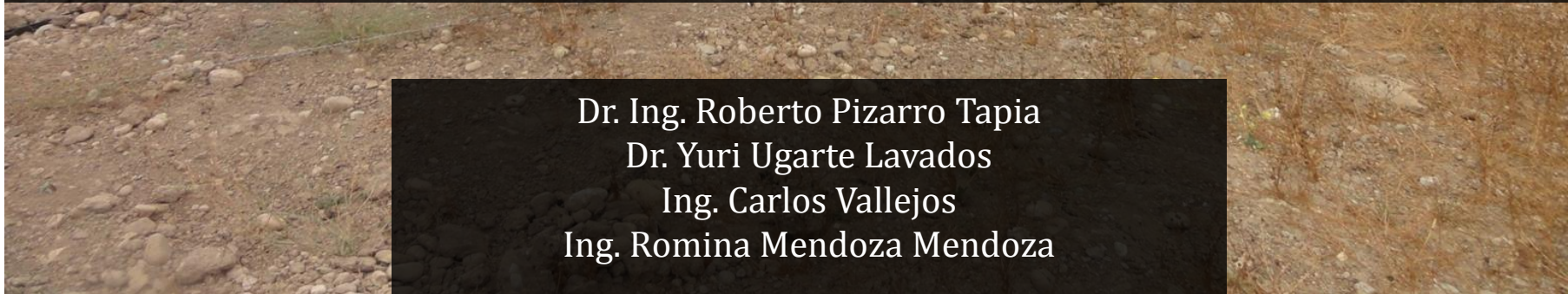




Diseño de Sistemas de Captación de Aguas Lluvia (SCALLS),
Universidad de Talca, Coordinación del Agua, Región de los Ríos,
Mayo del 2015



Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia
Dr. Yuri Ugarte Lavados
Ing. Carlos Vallejos
Ing. Romina Mendoza Mendoza

INTRODUCCIÓN



En muchas regiones del mundo el agua se está convirtiendo en un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y la estabilidad económica y política. Aunque el 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, solamente un 2.5% es agua dulce, y de esta última, poco menos de un 0.3% es agua superficial.

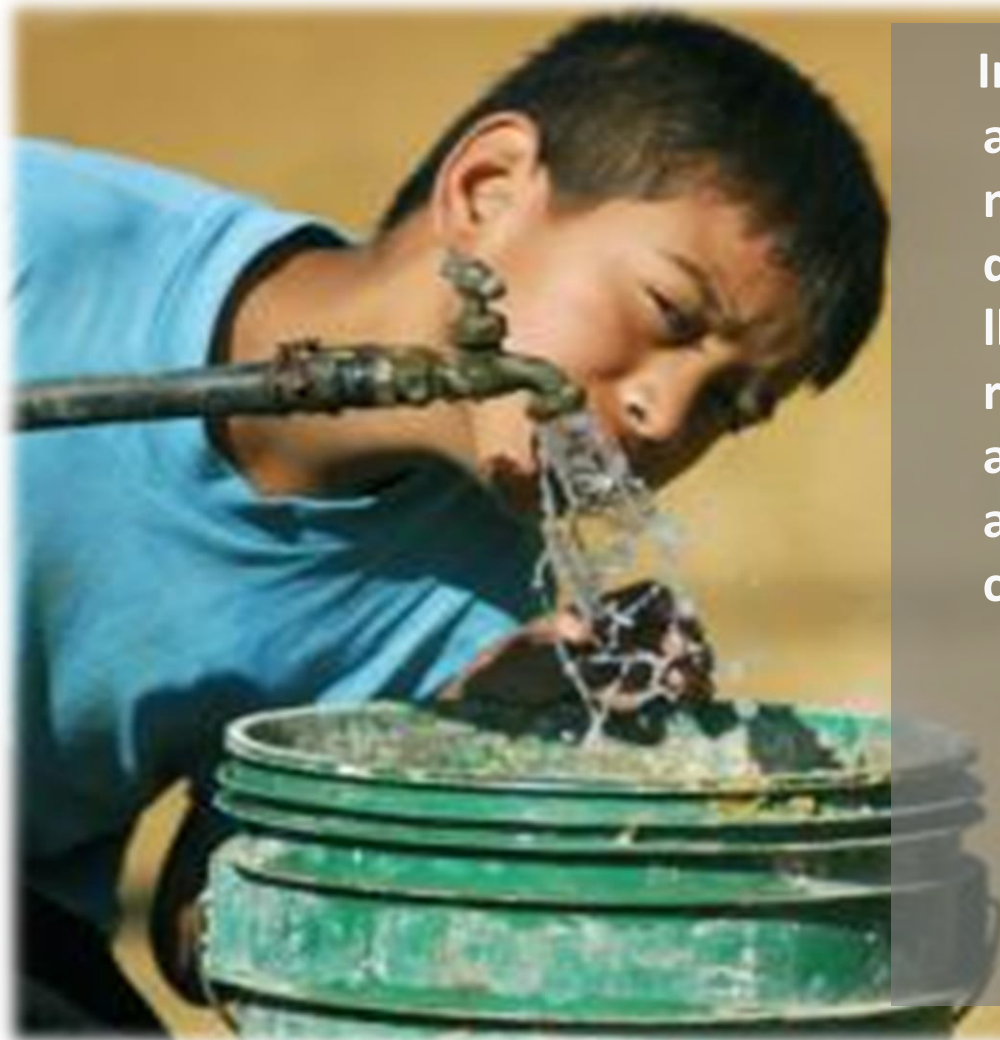


INTRODUCCIÓN

En Chile los SCALLs aún no han sido implementados de forma masiva, en comparación con países como EEUU, España, Alemania, Sudáfrica, China, Taiwán, Singapur, Nueva Delhi, México y Brasil, entre otros, en donde estos sistemas se han masificado con proyectos que han llevado a cabo la construcción de cientos, miles y hasta millones de sistemas de acumulación de aguas lluvias.



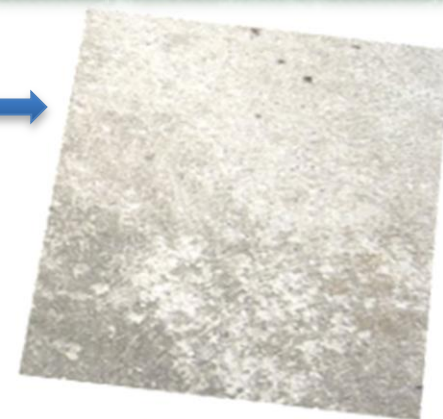
OBJETIVO DE LOS SCALLS



Incrementar la disponibilidad de agua para zonas rurales y urbanas mediante el diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias, permitiendo la utilización del recurso con fines de consumo de agua potable, producción agropecuaria, consumo doméstico y consumo animal.

Componentes de un
SCALL

Superficie de Captación de Aguas Lluvias
Impermeabilizada



Filtro Decantador de Sedimentos

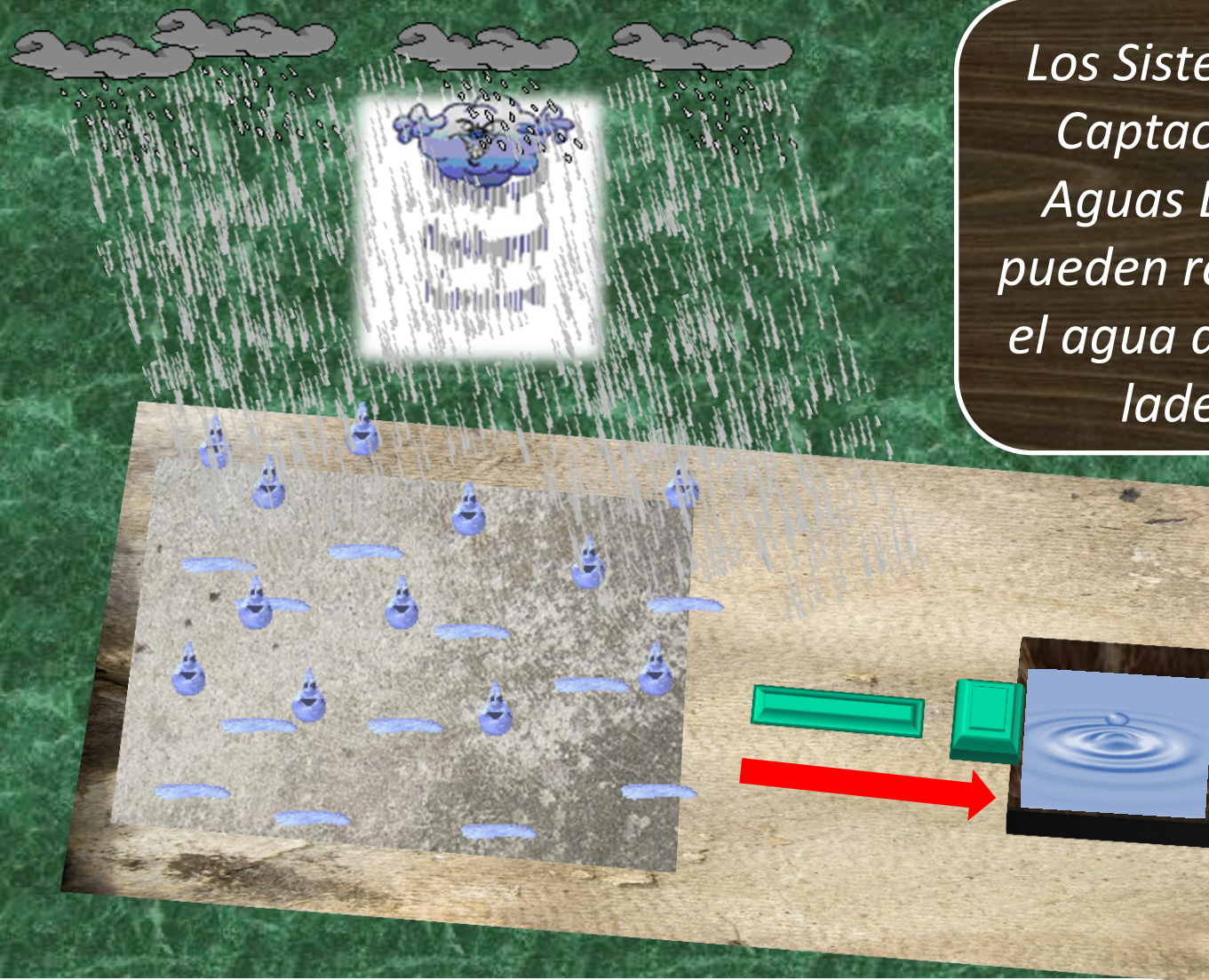


Cisterna de Acumulación

Dimensionada según cantidad de agua
Impermeabilizada



Componentes de un SCALL



*Los Sistemas de
Captación de
Aguas Lluvias,
pueden recolectar
el agua desde las
laderas*

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

- Es posible también acumular aguas lluvias en ciudades, desde techos de casas y edificios. Estas aguas pueden servir para el riego de áreas verdes, la infiltración del agua en sistemas urbanos y la disminución de los caudales circulantes aguas abajo, evitando los consiguientes daños.



SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

- Debido a las sequías, la contaminación actual y los efectos del cambio climático en general, los SCALLs han vuelto en popularidad en todo el mundo



SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

El caso de Tucson, AZ

- Pionero en USA
- Reembolso de hasta US\$2.000 (dos niveles)
 - Deben recibir agua de “Tucson Water”
 - Se debe asistir a un taller
 - Presentar un plano del proyecto
- Tres prácticas principales para SCALs:
 - Captación en techos
 - Captación en jardines
 - Captación en calles







Input from rain gutter system

Solid Lid
W/ Vent

APPROXIMATE GALLONS

5x8 = 1000

4x8 = 750

3x8 = 425



Culvert Cistern

Output hose bib

concrete

Input

Clean out

Overflow

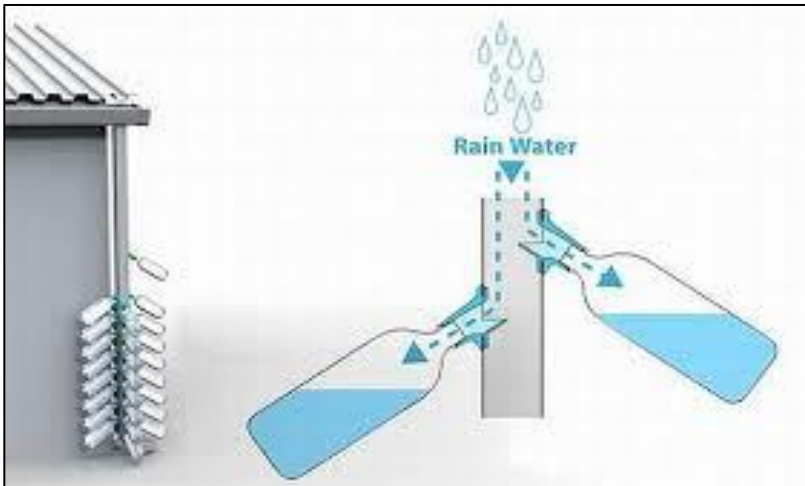
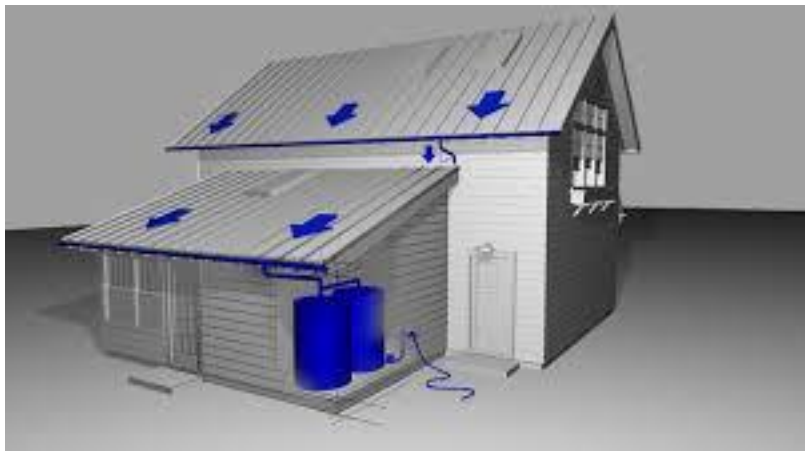
Pop-up

















SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (SCALLS)



DISEÑO HIDROLÓGICO

Análisis de Precipitación
Pp diseño
Pérdidas (e, ev.)

DISEÑO CONSTRUCTIVO

Materiales zona captación
Materiales cisterna

TRATAMIENTO DE AGUA

Usos: Riego
Potable
Animales

Tipo de Cubierta	Coefficiente Captación
Concreto	0,6 - 0,8
Pavimento	0,5 - 0,6
Geomembrana	0,85 - 0,9

EVALUACIÓN:
Eficiencia hídrica
Económica
Calidad de aguas



Caracterización Hidrológica

Selección de Sitios

Diseño Hidrológico

Accesibilidad

Tipo tenencia Propiedad

Disposición

Disponibilidad Hídrica

Factibilidad Técnica y espacial

Análisis Estadístico

Determinación de Materiales

Tipos de Construcción

Caracterización Hidrológica

Análisis Estadístico

Función de Distribución de Probabilidad (FDP)

Función de Distribución Gumbel

$$\text{Probabilidad de Excedencia} = P(X) = \frac{1}{T}$$

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

$$F(X) = e^{-e^{-d \cdot (x - \mu)}}$$

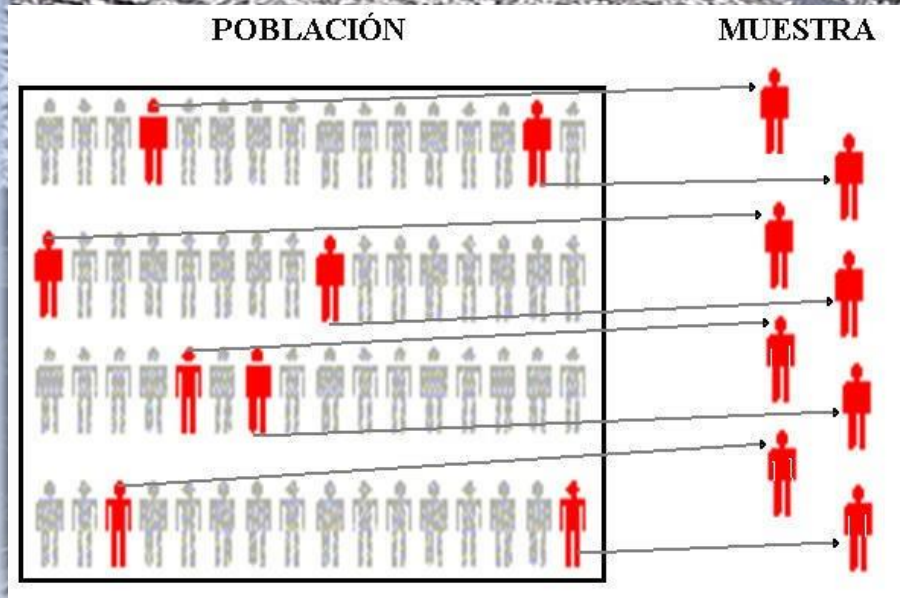
Donde:

X: Valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño).

d y u: Parámetros a ajustar de la función.

E: Constante de Neper.

Funciones de Distribución de Probabilidad



Según Chow *et al.* (1994), al conjunto de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n , de la variable aleatoria, se denomina *muestra*. Una muestra es sacada de una población hipotéticamente infinita, que posee propiedades estadísticas constantes.

Si el número de observaciones n_i , en el intervalo i que cubre un cierto rango, se divide por el número total de observaciones n , el resultado se conoce como *frecuencia relativa*

Funciones de Distribución de Probabilidad



La suma de los valores de la frecuencia relativa hasta un punto dado, es la función de frecuencia acumulada, y en su límite, cuando $n \rightarrow \infty$ y $\Delta x \rightarrow 0$, se denomina Función de Distribución de Probabilidad (F.D.P.)

Funciones de Distribución de Probabilidad

Probabilidad
excedencia: Es de
la
probabilidad asociada al
período de retorno.

$$P(x > X) = \frac{1}{T}$$

Período de retorno: Se define como el tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales. Sea ese tiempo T.

Formas de Determinar la Probabilidad

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

De esta forma es importante definir las Funciones de Distribución de Probabilidad que mejor se ajustan al comportamiento de las variables hidrológicas, donde no se considerará para este ejemplo la Función de Distribución Normal, la cuál si bien es el modelo más utilizado y con mayor importancia en el campo de la estadística, su uso es muy limitado en hidrología, dado que las variables raramente se comportan de esta forma (Varas y Bois, 1998).

función de distribución de probabilidad $F(X)$

Distribución Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\sigma * (x - \mu)}} \quad ; \quad -\infty \leq x \leq \infty$$

x = valor a asumir por la variable aleatoria.

e = base de los logaritmos neperianos.

μ y σ = parámetros a estimar en función de la muestra.

$$\mu = \bar{X} - 0,450047 * S$$

$$\sigma = \frac{1}{0,779696 * S}$$

S = desviación estándar de la muestra;

\bar{X} = media de la muestra.

Medidas de bondad de ajuste

Test de Kolmogorov - Smirnov R^2

Compara la desviación de la frecuencia observada acumulada con la relación a la frecuencia teórica acumulada de manera de obtener el supremo de las diferencias en valor absoluto.

$$K-S = \max_i |Fn(x)_i - F(x)_i|$$

Donde:

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

$\overline{F_n(x)}$: Media de las frecuencias observadas acumuladas

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada

$F(x)$: Frecuencia teórica acumulada

Metodología

Ajuste de los datos a la FDP de Gumbel

$F_n(x) = \frac{n}{N+1}$ Expresión de Weibull

Diferencia Suprema
 $D_c = \text{Sup} | F_n(x)_i - F(x)_i |$

- D_c = Supremo de las Diferencias.
- $F_n(x)_i$ = Frecuencia Observada Acumulada de Weibull.
- $F(x)_i$ = Frecuencia Teórica Acumulada

Años	Precipitación Anual	Orden Creciente	Frecuencia Relativa $F_n(X) = (n/N+1)$	Frecuencia Teórica Gumbel $F(X)$	Dc Sup
1990	538.9	307.1	0.0476	0.00027	0.04733
1991	967	532.5	0.0952	0.06142	0.03378
1992	538.9	538.9	0.1429	0.06682	0.07608
1993	595.7	595.7	0.1905	0.12731	0.06319
1994	667.5	667.5	0.2381	0.23195	0.00615
1995	668.8	668.8	0.2857	0.23407	0.05163
1996	743.1	743.1	0.3333	0.3616	0.0283
1997	751.3	751.3	0.381	0.37605	0.00495
1998	830.8	830.8	0.4286	0.51261	0.08401
1999	847	847	0.4762	0.53884	0.06264
2000	851.8	851.8	0.5238	0.54647	0.02267
2001	933.6	933.6	0.5714	0.66474	0.09334
2002	967	967	0.619	0.70612	0.08712
2003	1078.1	1078.1	0.6667	0.81517	0.14847
2004	1083.8	1083.8	0.7143	0.81967	0.10537
2005	1222.6	1109.7	0.7619	0.83892	0.07702
2006	1083.8	1126.4	0.8095	0.85032	0.04082
2007	532.5	1205.2	0.8571	0.8948	0.0377
2008	1078.1	1222.6	0.9048	0.90279	0.00201
2009	595.7	1291.5	0.9524	0.92578	0.00000

Metodología

Tests de Bondad del Ajuste

Una vez obtenido el supremo de las diferencias, para cada una de las duraciones, se compara con el valor de la tabla Kolmogorov-

D_c	D_t	Ajuste K-S	R^2
0,14847	0,294	Acepta Ho	0,942

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x))_i - F(x)_i)^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2}$$

- $F_n(x)_i$ = Frecuencia Observada Acumulada de Weibull.
- $F(x)_i$ = Frecuencia Teórica Acumulada de Gumbel.
- $\overline{F_n(x)_i}$ = Promedio de la Frecuencia Observada.

Para el nivel de confianza de aceptación (R^2), se indica que el valor de la tabla 95% de representatividad es superior a la diferencia real.

Metodología

Precipitación asociada a una probabilidad

Una vez realizado el ajuste de la
FPP...
 $P(x \leq X) = 0,1$
Probabilidad de Ocurrencia
períodos de retorno

$$X_i = \mu - \frac{(\text{Ln}(-\text{Ln} F(x)))}{\sigma}$$

X_i = Valor de intensidad para la duración i .
 μ y σ = Parámetros estimados para cada duración.
 Ln = Logaritmo Natural.
 $F(x)$ = Probabilidad asociada al período de retorno.

$$x = 746.66 - \frac{\ln(-\ln(F(0,10)))}{0,00479} = 572,54$$

Metodología

Calculo del área de captación

$$A_{cap} = \frac{V_c}{P * e}$$

$$A_{cap} = \frac{30 \text{ m}^3}{0.57254 \text{ m} * 0.85} = 61.644 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{cap} = Área de captación en la ladera (m²);

V_c = Volumen de la cisterna (m³);

P = Precipitación de diseño (m), calculada para una probabilidad de excedencia

Geomembrana	85%
Concreto	60%
Pavimento	50%

Caracterización Hidrológica



- Se desea construir una cisterna de acumulación de aguas lluvias con los datos de la estación Talca UC.

AÑO	PRECIPITACION
1983	544,40
1984	1061,80
1985	534,70
1986	953,60
1987	773,70
1988	592,80
1989	445,30
1990	433,90
1991	705,60
1992	895,20
1993	532,90
1994	513,90
1995	571,50
1996	357,10
1997	868,50
1998	217,30
1999	609,30
2000	672,10
2001	781,30
2002	972,60
2003	441,60
2004	581,10
2005	855,50
2006	766,90
2007	333,10
2008	660,30
2009	533,40
2010	451,50

Caracterización Hidrológica



- Lo primero es calcular los parámetros de la función de Gumbel.

$$d = \frac{1}{0,779696 * S}$$

$$\mu = \bar{x} - 0,450047 * S$$

Promedio	630,75
Desviación	209,622729
u	536,4063483
d	0,006118378

$$F_n(x) = \frac{n}{N+1}$$

Expresión de Weibull

$F_n(x)$ = Frecuencia Observada Acumulada.
 = Número del dato n.

Diferencia Suprema

$$D_c = \text{Sup} | F_n(x)_i - F(x)_i |$$

D_c = Supremo de las Diferencias.
 $F_n(x)_i$ = Frecuencia Observada Acumulada de Weibull.
 $F(x)_i$ = Frecuencia Teórica Acumulada

Nº	Datos	$F_n(x)$	$F(x)$	SUP	Prom. $F_n(x)$
1	217,30	0,03448276	0,00087117	0,03361159	0,5
2	333,10	0,06896552	0,03114397	0,03782154	0,5
3	357,10	0,10344828	0,05001867	0,0534296	0,5
4	433,90	0,13793103	0,15376815	0,01583711	0,5
	441,60	0,17241379	0,16760461	0,00480918	0,5
	445,30	0,20689655	0,1744413	0,03245525	0,5
	451,50	0,24137931	0,1861563	0,05522301	0,5
	513,90	0,27586207	0,31738685	0,04152478	0,5
	532,90	0,31034483	0,35998787	0,04964304	0,5
	533,40	0,34482759	0,36111306	0,01628547	0,5
	534,70	0,37931034	0,36403882	0,01527153	0,5
	544,40	0,4137931	0,38586467	0,02792843	0,5
		0,44827586	0,44629713	0,00197873	0,5
		0,48275862	0,46731658	0,01544204	0,5
		0,51724138	0,49253308	0,0247083	0,5
		0,55172414	0,52719247	0,02453167	0,5
		0,5862069	0,62588448	0,03967758	0,5
		0,62068966	0,64664932	0,02595966	0,5
		0,65517241	0,70106223	0,04588982	0,5
		0,68965517	0,78342268	0,09376751	0,5
		0,72413793	0,79125405	0,06711612	0,5
		0,75862069	0,79971635	0,04109566	0,5
		0,79310345	0,86767145	0,074568	0,5
24	868,50	0,82758621	0,87713922	0,04955301	0,5
25	895,20	0,86206897	0,89464135	0,03257239	0,5
26	953,60	0,89655172	0,92507273	0,028521	0,5
27	972,60	0,93103448	0,93301357	0,00197909	0,5
28	1061,80	0,96551724	0,96062312	0,00489412	0,5

Caracterización Hidrológica



- Luego, se realizan las pruebas de bondad de ajuste mencionadas anteriormente.

D_c	0,09376751
D_t	0,25
R^2	0,98204985

- Dado que el estadístico calculado (D_c) es menor que el estadístico de tabla (D_t), se acepta el ajuste de la función de Gumbel, lo cual es avalado por el Coeficiente de Determinación R^2 .

Caracterización Hidrológica



- Posteriormente a través del despeje de x de la función de Gumbel se procede a calcular la precipitación de diseño de la obra, con un 90% de probabilidad de las lluvias sean menores al valor calculado. Este se calcula de la siguiente forma:

$$x = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(x)))}{d}$$

- A partir de los datos se obtiene que la precipitación de diseño es de 400.09 mm

Caracterización Hidrológica



- Luego, a partir de este valor, se procede a calcular el área de captación, de la siguiente forma:

$$A_{cap} = \frac{V_c}{P * e}$$

Donde:

A_{cap} = Área de captación en la ladera (m^2);

V_c = Volumen de la cisterna (m^3);

P = Precipitación de diseño (m), calculada para una probabilidad de excedencia;

e = Coeficiente de escorrentía, que dependerá del material con que se impermeabilice la ladera.

Caracterización Hidrológica



- Para el diseño con geomembrana, el cálculo es de la siguiente forma:

$$Ac = 30 \text{ m}^3 / ((400,09 \text{ mm}/1000) * 0,85) = 88.2 \text{ m}^2$$

Caracterización Hidrológica



- Para las restantes medidas y materiales, solo hay que reemplazar los datos, obteniendo lo siguiente:

E	
Geomembrana	0,85
Concreto	0,6
Pavimento	0,5

	Capacidad (m ³)				
	30	40	50	60	70
Área de Captación (m ²)	88,2	117,6	147	176,4	205,8
	125	166,6	208,3	249,9	291,6
	150	200	249,9	299,9	349,9

Tipos de Construcción



Aplicaciones de los Scalls

**Agua para Consumo
Humano**



Agua para Consumo Animal



Agua para riego



**Agua para Combate de
Incendio**

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

ÁREA DE CAPTACIÓN: GEOMEMBRANA Y HORMIGÓN

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

ÁREA DE CAPTACIÓN



Geomembrana

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

ÁREA DE CAPTACIÓN



Hormigón Armado

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

ÁREAS DE ACUMULACIÓN: DISTINTAS MATERIALIDADES

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



Sistema de captación (60m^2) y acumulación (30m^3) de aguas lluvias construida en hormigón (Total \approx MM\$4,6), Sector Los Marcos, Comuna de Longaví.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



Sistema de captación de geomembrana (50m²) y estanque de polietileno (20m³) (Total≈MM\$3,7), Sector Peralillo, Comuna de Chanco.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



Sistema de captación (150m^2) y acumulación (50m^3) de aguas lluvias construida con geomembrana (Total \approx MM\$4,6), Sector Huapi, Comuna de Licantén.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



Sistema de captación de geomembrana (85m²) e hidro-acumulador de PVC (30m³)(Total≈MM\$3,2), Sector Lagunillas, Comuna de Chanco.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



**nivel de agua
acumulado al
14 de mayo de
2014**

Sistema de captación de geomembrana (60m²) y estanque de fibra de vidrio (20m³)(Total≈MM\$4,6), Sector Ramadilla, Comuna de Pelluhue.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS



Sistema de captación de geomembrana (95m²) y estanque australiano (40m³) (Total≈MM\$5,2), Sector Peuño Alto, Comuna de Pelluhue.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

- Se pueden acumular desde decenas de metros cúbicos a miles de ellos y esa **agua es "gratis"**.
- Los costos se encuentran asociados a unidades experimentales, por lo que se estima que éstos pueden ser reducidos en un 30% aproximadamente.

Sector	Área de Captación	Área de Acumulación	Valor aproximado (MM\$)	Valor aproximado (\$/m3)
La Leonera	90 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	30 m ³ estanque vertical de polietileno	5,5	183.333
Huapi	150 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	50 m ³ geomembrana	4,6	92.000
El Molino	115 m ² geomembrana HD	40 m ³ flexitank de pvc	4	100.000
Rapilermo Alto	170 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	60 m ³ de geomembrana	4,3	71.667
El Guindo	85 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	30 m ³ flexitank de pvc	3,2	106.667
Peralillo	50 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	20 m ³ estanque vertical de polietileno	3,7	185.000
Quilhuene	120 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	50 m ³ flexitank de pvc	4,9	98.000
Lagunillas	50 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	20 m ³ flexitank pvc	2,1	105.000
Ramadilla	50 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	20 m ³ estanque vertical de fibra de vidrio	4,2	210.000
Los Marcos	80 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	30 m ³ hormigón armado	4,6	153.333
Loma de Vasquez	60 m ² geomembrana HD 1 mm de espesor	30 m ³ flexitank de pvc	2,7	90.000

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Alcances

- Mejor evaluación la tienen los flexitank y las excavaciones cubiertas con geomembrana.
- Las cisternas están cerradas para evitar la entrada de luz, pero debe haber capacitación de uso
- Las personas a veces poseen objetivos distintos. (Ducha)
- Alta calidad del agua en primera evaluación, que debe seguir siendo evaluada.
- Costos no consideran fotopaneles; los principales son de operación
- La construcción por reemplazo de camiones aljibes debe incorporar métodos de ingeniería de transportes

PORTAL WEB CTHA

NOSOTROS LINEAS DE INVESTIGACIÓN PROYECTOS PUBLICACIONES VÍNCULOS GALERÍA SIMULADOR CTHA



VISÍTENOS

HTTP://CTHA.UTALCA.CL

 PHI PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL - UNESCO

 INICIATIVA INTERNACIONAL DE SEDIMENTOS - UNESCO/LAC

PROYECTO 10 CREC - 8586
NATURAL DISASTERS FOOTPRINT

Proyecto FONDEF D0811054
Sistema de Estimación de Eventos Extremos

NOTICIAS DESDE TALCA

NEWSLETTER

PLADEFORA

NOTICIAS CTHA

● Martes 29/05/2013. Estudiantes de ingeniería forestal realizan muestreo de hidrología en la Región...

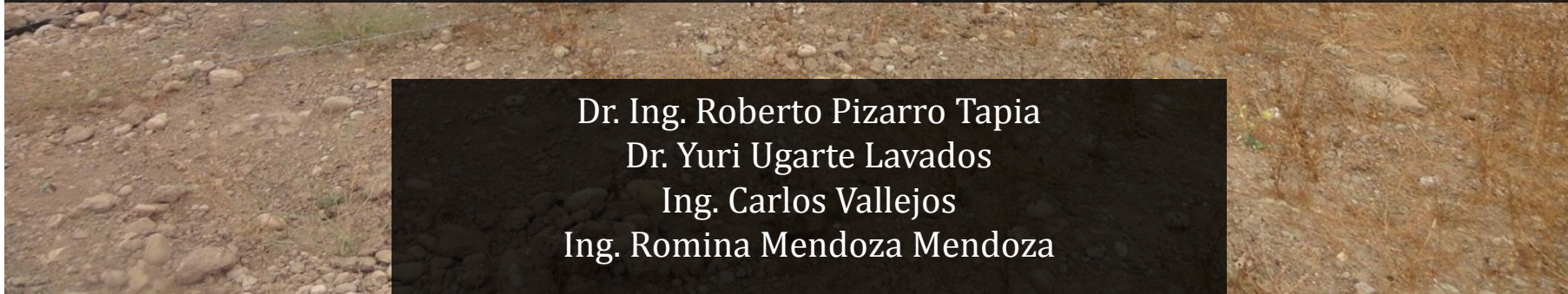
CTHA, CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDROLOGÍA AMBIENTAL

Es un equipo multidisciplinario de investigación conformado por especialistas de diversas áreas ligados a la hidrología y al medioambiente. Así, agrupa a investigadores de las Facultades de Ingeniería Forestal, de Ingeniería, de Ciencias Empresariales y de Derecho, además del Instituto de Química, todos pertenecientes a la Universidad de Talca. Asimismo, posee alianzas con las Universidades de Arizona, Politécnica de Madrid y de Córdoba (España), así como con el Programa Hidrológico Internacional (PHI) y la Iniciativa Internacional de Sedimentos (ISI), ambas de UNESCO, y con el Centro del Agua para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe, CAZALAC.

Como investigadores, nuestro accionar se centra en la gestión de recursos naturales, especialmente, aguas y suelos, abordando temas como la disponibilidad de agua en términos espaciales y temporales, y su uso eficiente desde una perspectiva productiva y ambiental.



Diseño de Sistemas de Captación de Aguas Lluvia (SCALLS),
Universidad de Talca, Coordinación del Agua, Región de los Ríos,
Mayo del 2015



Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia
Dr. Yuri Ugarte Lavados
Ing. Carlos Vallejos
Ing. Romina Mendoza Mendoza