

Dr. Ben Ingram · Ing. Alfredo Ibáñez Córdova · Dr. Roberto Pizarro Tapia
Dra. Claudia Sangüesa Pool · Dr. Rodrigo Paredes Moraleda · Ing. Cristóbal Toledo Acevedo

SOFTWARE DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

MANUAL DE USUARIO





Cátedra UNESCO
Hidrología de Superficie
Universidad de Talca

MANUAL DE USUARIO

SOFTWARE DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Autores:

Dr. Ben Ingram
Ing. Alfredo Ibáñez Córdova
Dr. Roberto Pizarro Tapia
Dra. Claudia Sangüesa Pool
Dr. Rodrigo Paredes Moraleda
Ing. Cristóbal Toledo Acevedo

ISBN: 978-956-420-438-3





SOFTWARE DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN



En un contexto de creciente pérdida de suelos por erosión hídrica, reducción de la recarga natural de acuíferos y de desertificación de territorios, se hace necesario contar con herramientas computacionales que faciliten el diseño de obras para mitigar la expansión de zonas desertificadas y la disminución de aguas subterráneas. En respuesta

a esta necesidad, la Cátedra Unesco en Hidrología de Superficie de la Universidad de Talca (CUHS) desarrolló un software que permite estimar las dimensiones y el distanciamiento óptimos de las zanjas de infiltración para un sitio determinado, con el objetivo de reducir el tiempo empleado en su diseño e implementación.

El software aborda los siguientes aspectos:

- Estimación hidrológica de las dimensiones de las zanjas de infiltración.
- Cálculo del distanciamiento óptimo entre zanjas.
- Adaptación a diferentes condiciones del terreno y de precipitación.

Este presenta dos módulos principales, los que son descritos a continuación:

Módulo estadístico: Posee la funcionalidad de ajustar y modelar registros hidrológicos históricos de Chile central, permitiendo seleccionar diversas funciones de distribución de probabilidades (FDP) y técnicas para ajustar los datos. Asimismo, el software permite evaluar y jerarquizar las distintas FDP, de tal forma de proporcionar al usuario el mejor ajuste para el tipo de datos a trabajar.

Lo anterior permite obtener un insumo básico para el diseño de obras hidráulicas y de conservación de aguas y suelos, como es la intensidad de lluvia de diseño (asociada a un periodo de retorno y a una duración).

Módulo dimensionamiento de zanjas: El segundo módulo es el de diseño de zanjas de infiltración, el que a partir del resultado obtenido en el módulo anterior y considerando otras variables edáficas, es posible obtener un diseño de esta obra hidrológicamente eficiente para la localidad geográfica de interés.

Este software fue elaborado para el ajuste de las FDP ligadas a intensidades de precipitación; no obstante, también es aplicable a un amplio conjunto de datos (por ejemplo, caudales, temperaturas u otros) y podrá ser ampliado para el diseño de otras obras de mitigación de la escorrentía, que propician la recarga de acuíferos o que tienden a la conservación de aguas y suelos.

El formato del software es autoejecutable en los computadores de los usuarios y permite exportar los datos en formatos utilizables por los Sistemas de Información Geográfica, facilitando su uso en un amplio contexto disciplinar. Este software puede ser descargado en el sitio <https://www.cuhs.utalca.cl/>.

Los autores agradecen al Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)-ANID BASAL FB210015 por el aporte de los recursos necesarios para el desarrollo del software.

Índice

1. Módulo procesamiento estadístico de datos.....	9
1.1. Interfaz de usuario	9
1.2. Mapa - Selección de estaciones	10
1.3. Selección de Parámetros	11
1.4. Datos y visualizaciones.....	14
1.4.1. Datos	14
1.4.2. Intensidades	15
1.4.3. Modelos de regresión (Curva).....	15
1.4.4. Índice de Tormenta	17
1.4.5. Histogramas	17
1.4.6. Gráficos QQ.....	18
2. Módulo Diseño de Zanja de Infiltración.....	20
2.1. Distanciamiento	21
2.2. Dimensionalidad	22

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz de usuario con la visualización de las estaciones pluviográficas.	9
Figura 2. Panel de selección de estaciones pluviográficas.	10
Figura 3. Panel de selección de parámetros.	11
Figura 4. Opciones para la selección de parámetros.	13
Figura 5. Pestaña Datos.	14
Figura 6. Pestaña Intensidades.	15
Figura 7. Pestaña Curva.	16
Figura 8. Pestaña Índice de Tormenta.	17
Figura 9. Pestaña Histogramas.	18
Figura 10. Pestaña Gráficos QQ.	19
Figura 11. Pestaña Zanja.	20
Figura 12. Subpestaña Distanciamiento.	21
Figura 13. Subpestaña Dimensionalidad.	22

Glosario

Bondad de Ajuste: Métodos estadísticos para evaluar la calidad del ajuste de un modelo a los datos observados.

Curva IDF: Familia de curvas que representan la intensidad máxima de precipitación en función del periodo de retorno y su duración.

Distancia horizontal (dh): Distancia entre las líneas de zanjas de infiltración. Esta distancia se mide horizontalmente y debe ser ajustada en función de la pendiente de la ladera para su implementación.

Función de distribución de probabilidad (FDP): Función matemática que describe la probabilidad de que una variable aleatoria tome un valor igual o menor a un valor específico.

Histograma: Representación gráfica de la distribución de frecuencias de una variable aleatoria.

Índice de Tormenta: Técnica para transformar las intensidades máximas de precipitación diarias en montos subdiarios.

Intensidad de precipitación: Se define como la razón entre el monto de precipitación en un tiempo determinado. Es decir, la cantidad de precipitación registrada en una duración específica.

Métodos de ajuste de distribuciones: método de los momentos (MoM); método de máxima verosimilitud (MLE); método de L-momentos (L-MoM)

Método de ajustes de regresiones: Método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS), método de mínimos cuadrados ponderados (WLS). En el caso de los mínimos cuadrados ponderados, estos pueden ser ajustados a partir del número de datos (WLS-num) o de la varianza de los datos (WLS-var).

Periodo de retorno (T): Intervalo de tiempo entre ocurrencias de un evento de igual magnitud. En términos probabilísticos es el inverso de la probabilidad de ocurrencia del evento.

Posición gráfica: Es un método estadístico utilizado para estimar la probabilidad de excedencia o de ocurrencia en una muestra ordenada. Además, permite verificar la calidad del ajuste de una FDP. La elección de la fórmula de posición gráfica, depende de la FDP utilizada.

Zanja de infiltración: Obra de conservación de aguas y suelos diseñada para incrementar la infiltración en el suelo. Se trata de un canal sin desnivel que captura y retiene la escurriente proveniente de la zona de impluvio.

1. Módulo procesamiento estadístico de datos

1.1. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se compone de dos secciones principales (Figura 1). En el lado izquierdo se encuentran los controles para realizar un análisis de frecuencia, permitiendo seleccionar la distribución probabilística y el método de ajuste a usar. En el lado derecho se encuentra la ubicación geográfica de las estaciones utilizadas y muestra las visualizaciones que responden a los cambios realizados en los parámetros.

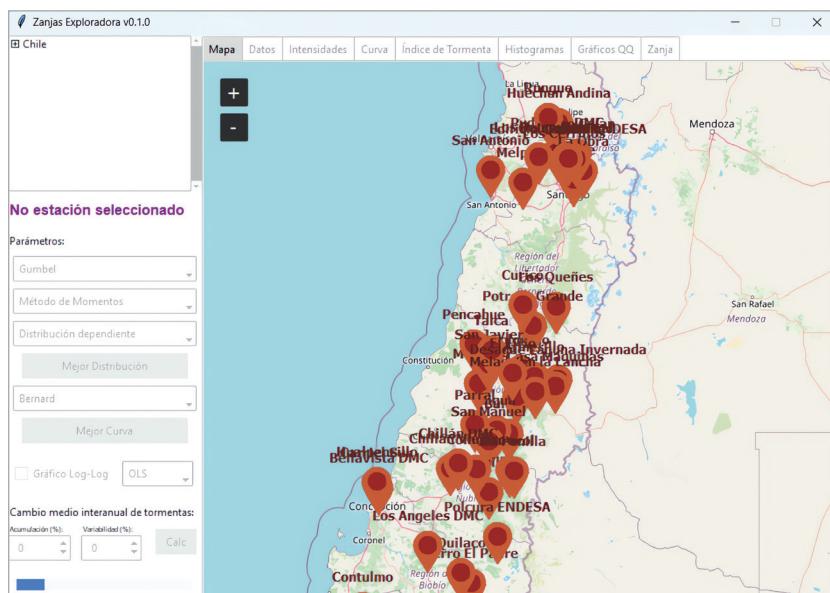


Figura 1. Interfaz de usuario con la visualización de las estaciones pluviográficas.

1.2. Mapa – Selección de estaciones

El usuario puede seleccionar una estación pluviográfica desde su ubicación geográfica para obtener información de las intensidades de precipitación. Lo anterior se puede realizar de dos formas: En el panel de la izquierda (Figura 2), el usuario puede seleccionar de una lista de estaciones. O alternativamente, el usuario puede hacer clic en el mapa y se seleccionará la estación más cercana al lugar seleccionado.

La estación seleccionada se mostrará en el panel de la izquierda.

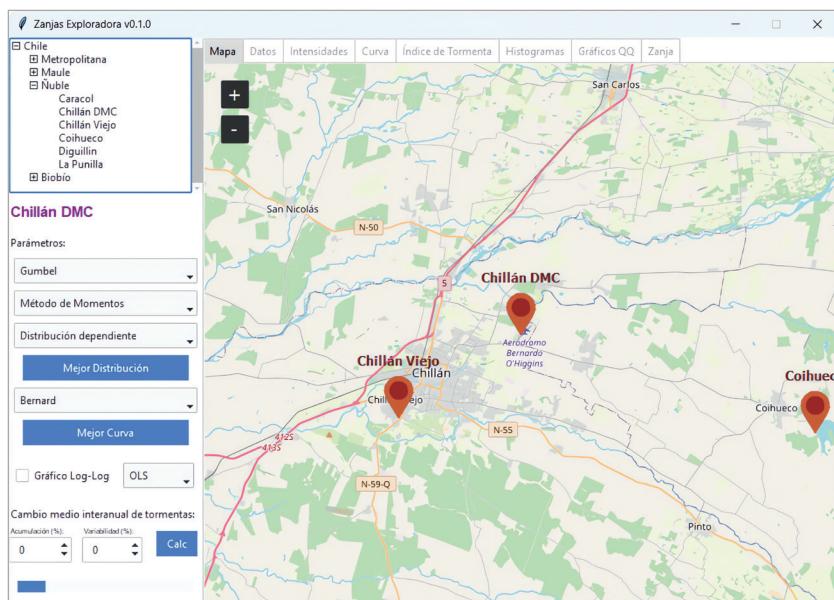


Figura 2. Panel de selección de estaciones pluviográficas.

1.3. Selección de Parámetros

En este panel se pueden seleccionar o modificar los diferentes parámetros y elementos que se utilizan para construir las curvas IDF. Estos son los siguientes (Figura 3):

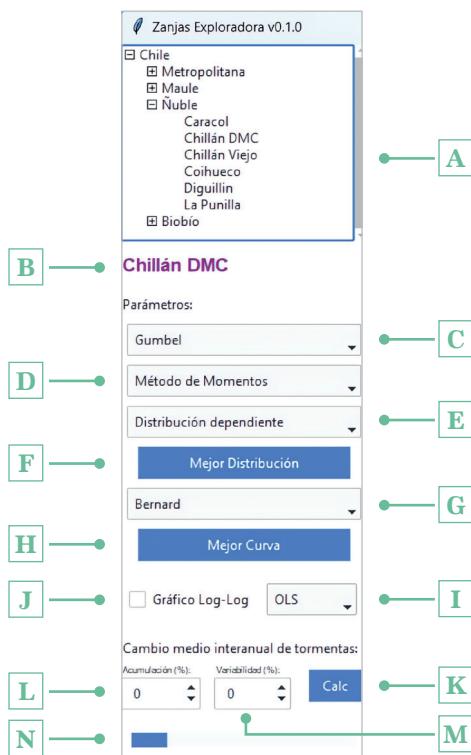
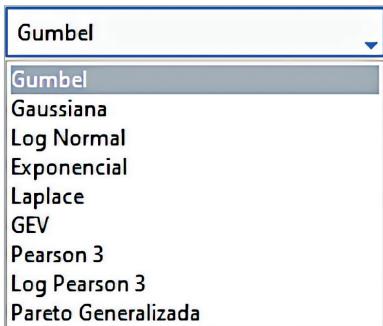


Figura 3. Panel de selección de parámetros.

-
- A) Selección de la estación pluvio-gráfica para utilizar.
 - B) Nombre de la estación seleccionada.
 - C) Elección de la Función de Distribución de Probabilidad (FDP).
 - D) Método para ajustar la FDP a los datos (MoM, MLE, L-MoM).
 - E) Método de Posicionamiento Gráfico: Selecciona el método de posicionamiento gráfico deseado de la lista. Por defecto, el programa selecciona el mejor posicionamiento gráfico para la FDP seleccionada.
 - F) Al presionar, el botón “mejor distribución”, el programa calculará el ajuste de todas las FDP y generará un resumen de fácil interpretación.
 - G) Este punto permite seleccionar un modelo de regresión para estimar las intensidades de lluvia en función del periodo de retorno y de la duración.
 - H) Ajusta las curvas IDF (regresiones) a los datos y genera un resumen, definiendo el mejor modelo.
 - I) Permite seleccionar el método para ajustar las regresiones (OLS, WLS).
 - J) Presenta la curva IDF en escala logarítmica.
 - K) Recalcula la curva en a partir de los parámetros de acumulación y variabilidad en L) y M).
 - L) Modifica los efectos del cambio climático en términos de porcentaje de acumulación.
 - M) Modifica los efectos del cambio climático en términos de porcentaje de variabilidad.
 - N) Barra de progreso

En el siguiente esquema (Figura 4) se muestran las opciones de métodos para la estimación de los parámetros incorporadas al software:

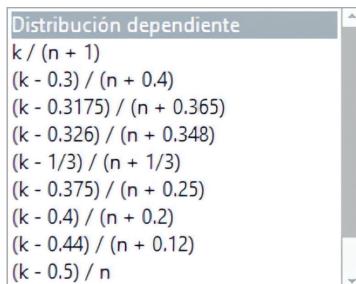
- a) Funciones de Distribución de Probabilidad (9 alternativas).



- b) Métodos de estimación del ajuste (4 opciones).



- c) El Método de Posicionamiento Gráfico se refiere a la técnica utilizada para calcular las posiciones de los puntos en un gráfico de probabilidad. Estas posiciones se utilizan para representar gráficamente la distribución empírica de los datos y compararla con una distribución teórica.



- d) Para ajustar la curva IDF, existen tres opciones para ajustar el modelo de regresión.

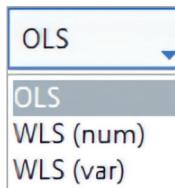


Figura 4. Opciones para la selección de parámetros

1.4. Datos y visualizaciones

Al seleccionar una estación se activarán las pestañas de la parte superior derecha. Estas pestañas se describen a continuación.

1.4.1. Datos

La pestaña de datos (Figura 5) muestra los datos de precipitación máximos anuales asociados a una duración para la estación seleccionada. Estos datos se muestran en forma tabulada con las precipitaciones máximas anuales en las filas y su duración (horas) en las columnas.

	0.25h	0.5h	0.75h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
1974	6.25	7.38	10.67	14.2	28.3	55.1	62.3	78.3	103.2
1975	4.88	6.19	9.25	11.4	14.8	25.8	34.0	68.0	93.2
1976	8.95	9.67	13.92	14.8	24.6	42.0	57.0	87.0	142.2
1977	9.98	13.39	16.55	18.9	25.2	30.74	45.2	84.8	132.0
1978	9.4	11.76	12.96	15.3	20.8	37.8	49.8	89.1	113.2
1981	9.79	19.47	19.15	24.2	42.6	61.2	90.2	149.2	172.3
1986	7.7	8.06	12.04	15.1	24.2	29.16	42.1	74.0	118.9
1987	5.83	10.15	14.12	15.0	25.4	38.94	42.3	80.0	123.1
1988	12.1	17.1	19.2	24.3	31.2	39.2	48.9	73.5	122.6
1989	5.86	9.1	12.98	15.6	27.2	39.1	48.1	77.5	101.5
1990	6.45	9.19	12.1	15.3	23.0	32.89	42.9	59.0	80.3
1991	9.61	19.16	19.16	15.0	23.5	41.94	53.4	96.8	179.6
1992	6.64	9.16	12.26	15.2	27.3	36.42	50.2	81.4	144.0
1993	7.74	11.2	15.1	17.3	22.7	42.1	58.1	95.3	112.8
1994	9.33	13.4	17.2	21.1	32.3	41.5	58.7	88.0	158.4
1995	8.5	13.52	17.05	20.0	28.5	55.8	70.0	91.8	131.0
1996	9.39	14.34	18.62	20.4	32.6	59.2	67.2	110.4	181.5
1997	9.63	11.81	18.93	19.9	27.2	47.6	68.4	123.1	195.5
1998	4.08	6.81	7.89	10.0	17.1	26.8	31.8	52.0	76.0
1999	7.47	7.69	11.2	14.7	25.1	43.7	54.0	68.6	94.2
2000	9.04	15.2	22.4	26.0	39.8	72.3	80.3	118.7	170.9
2001	7.97	14.3	19.07	24.9	35.3	68.1	78.2	131.2	220.8
2002	10.02	15.2	20.1	24.1	39.8	52.1	65.6	104.3	172.1
2003	7.56	13.3	17.1	20.5	33.6	46.6	54.2	93.0	122.8
2004	15.0	23.0	30.0	37.7	57.2	62.0	68.0	71.0	85.5
2005	17.1	23.5	30.1	36.5	56.5	79.2	99.1	126.5	126.5

Figura 5. Pestaña Datos.

1.4.2. Intensidades

La pestaña de Intensidades (Figura 6) muestra las intensidades máximas anuales de cada estación, tabulando los datos con intensidades máximas anuales en las filas y su duración (horas) en las columnas.

	0.25h	0.5h	0.75h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
1974	25.0	14.76	14.23	14.2	14.15	13.78	10.38	6.52	4.3
1975	19.52	12.38	12.33	11.4	7.4	6.45	5.67	5.67	3.88
1976	35.8	19.34	18.56	14.8	12.3	10.5	9.5	7.25	5.92
1977	39.92	26.78	22.07	18.9	12.6	7.68	7.53	7.07	5.5
1978	37.6	23.52	17.28	15.3	10.4	9.45	8.3	7.42	4.72
1981	39.16	38.94	25.53	24.2	21.3	15.3	15.03	12.43	7.18
1986	30.8	16.12	16.05	15.1	12.1	7.29	7.02	6.17	4.95
1987	23.32	20.3	18.83	15.0	12.7	9.74	7.05	6.67	5.13
1988	48.4	34.2	25.6	24.3	15.6	9.8	8.15	6.12	5.11
1989	23.44	18.2	17.31	15.6	13.6	9.78	8.02	6.46	4.23
1990	25.8	18.38	16.13	15.3	11.5	8.22	7.15	4.92	3.35
1991	38.44	38.32	25.55	15.0	11.75	10.48	8.9	8.07	7.48
1992	26.56	18.32	16.35	15.2	13.65	9.1	8.37	6.78	6.0
1993	30.96	22.4	20.13	17.3	11.35	10.52	9.68	7.94	4.7
1994	37.32	26.8	22.93	21.1	16.15	10.38	9.78	7.33	6.6
1995	34.0	27.04	22.73	20.0	14.25	13.95	11.67	7.65	5.46
1996	37.56	28.68	24.83	20.4	16.3	14.8	11.2	9.2	7.56
1997	38.52	23.62	25.24	19.9	13.6	11.9	11.4	10.26	8.15
1998	16.32	13.62	10.52	10.0	8.55	6.7	5.3	4.33	3.17
1999	29.88	15.38	14.93	14.7	12.55	10.92	9.0	5.72	3.92
2000	36.16	30.4	29.87	26.0	19.9	18.08	13.38	9.89	7.12
2001	31.88	28.6	25.43	24.9	17.65	17.02	13.03	10.93	9.2
2002	40.08	30.4	26.8	24.1	19.9	13.02	10.93	8.69	7.17
2003	30.24	26.6	22.8	20.5	16.8	11.65	9.03	7.75	5.12
2004	60.0	46.0	40.0	37.7	28.6	15.5	11.33	5.92	3.56
2005	68.4	47.0	40.13	36.5	28.25	19.8	16.52	10.54	5.27

Figura 6. Pestaña Intensidades.

1.4.3. Modelos de regresión (Curva)

La pestaña Curva (Figura 7) permite seleccionar diversos modelos de regresión para ajustar los datos de intensidades y generar modelos de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia). El resultado del ajuste se muestra

al lado derecho como una curva interactiva, permitiendo al usuario pasar el cursor sobre la línea para ver las intensidades asociadas a un periodo de retorno y a su duración. El modelo ajustado se muestra en la parte superior derecha del gráfico, junto con sus respectivas medidas de bondad de ajuste, que incluyen:

- a) Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)
- b) Eficiencia de Kling-Gupta (KGE)
- c) Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)
- d) Coeficiente de correlación (r)
- e) U de Mann-Whitney (MW U)

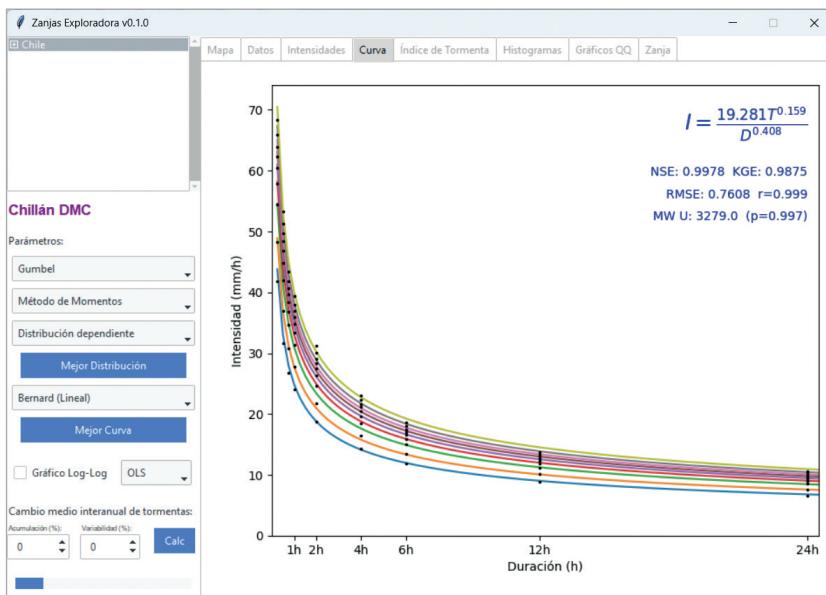


Figura 7. Pestaña Curva.

1.4.4. Índice de Tormenta

Esta pestaña muestra una tabla con el Índice de Tormenta calculado según los parámetros seleccionados en el panel del lado izquierdo (Figura 8).

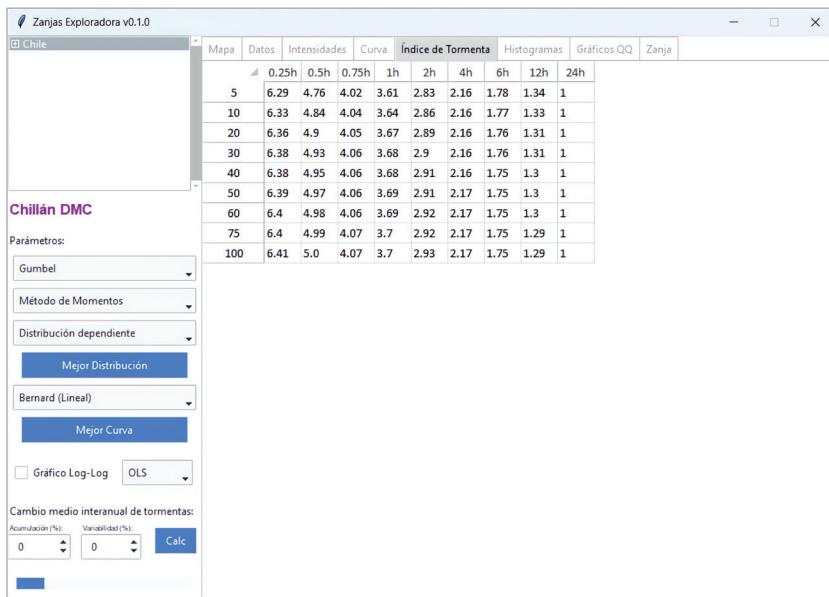


Figura 8. Pestaña Índice de Tormenta.

1.4.5. Histogramas

El programa permite graficar histogramas como medida de evaluación para cada una de las duraciones ajustadas (Figura 9). Además, se traza en el mismo gráfico la función de distribución de probabilidad seleccionada, utilizando el método de ajuste elegido (MoM, MLE y L-MoM) para cada duración. Los parámetros del ajuste de la distribución de probabilidad se muestran en la parte superior derecha de cada gráfico. Esta visualización es importante, ya que permite al usuario explorar la dispersión y la forma de la distribución de los datos sin ajustar y cómo las diferentes funciones de distribución de probabilidad se ajustan a estos datos.

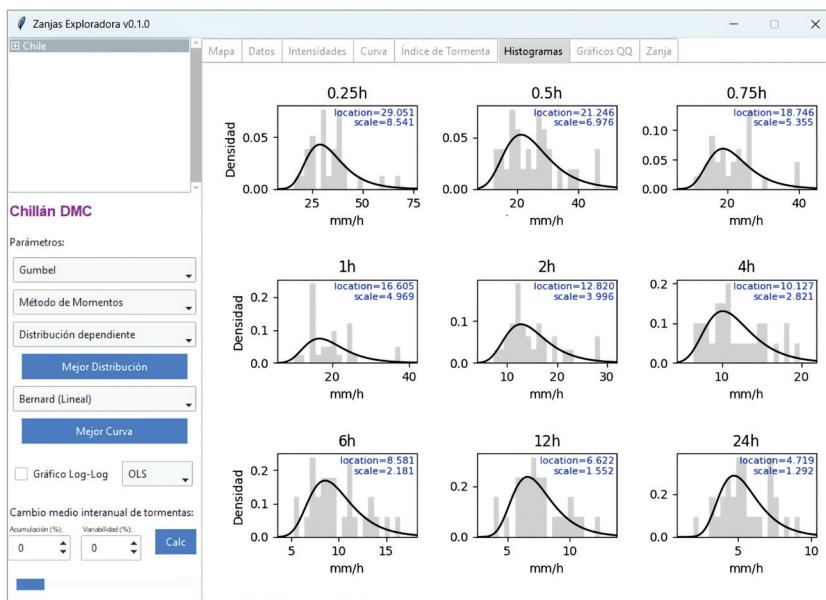


Figura 9. Pestaña histogramas.

1.4.6. Gráficos QQ

La pestaña Gráficos QQ (Figura 10) muestra diagramas de dispersión creados al trazar los cuantiles de la distribución empírica vs los cuantiles de la distribución teórica.

Si los cuantiles de las series de datos provienen de la misma distribución, los puntos graficados formarán una línea recta.

En cada gráfico QQ se muestran las pruebas de bondad de ajuste:

- En la parte superior izquierda se muestran las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD) y coeficiente de correlación (r).
- En la parte inferior derecha se muestran las pruebas de Eficiencia de Nash-Stucliffe (NSE), Eficiencia de Kling-Gupta (KGE) y Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Esta herramienta visual complementa los histogramas y ayuda a evaluar la calidad del ajuste de la distribución teórica a los datos observados.

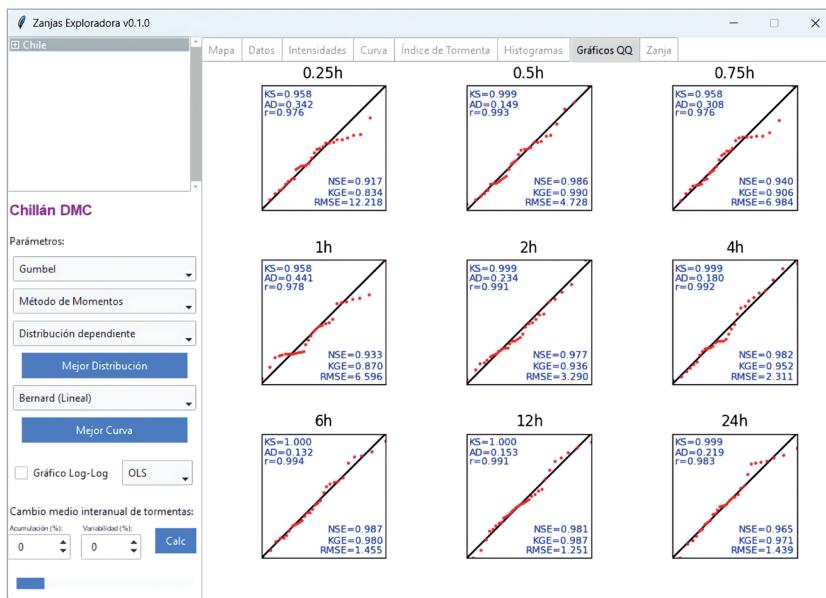


Figura 10. Pestaña Gráficos QQ.

2. Módulo Diseño de Zanja de Infiltración

Al obtener la curva IDF (Módulo 1) es posible diseñar las zanjas de infiltración; para esto se activa la pestaña Zanja (Figura 11). Esta pestaña se divide en las siguientes secciones:

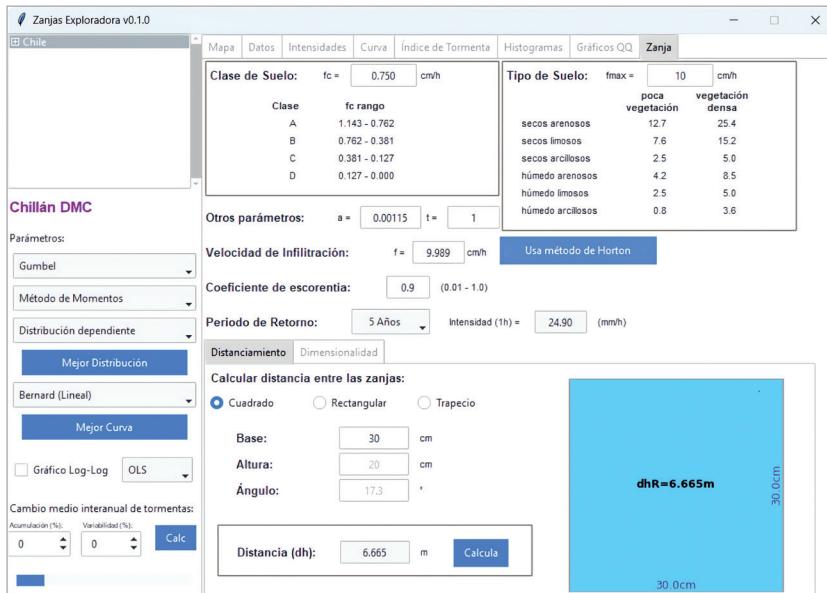


Figura 11. Pestaña Zanja.

I. Velocidad de Infiltración:

- Puede ser ingresada directamente por el usuario.
- Alternativamente, se puede calcular usando el método de Horton, que utiliza:
 - » Clase de Suelo
 - » Tipo de Suelo
 - » Parámetros a y t
- Al hacer clic en “Usar método de Horton”, el valor de “Velocidad de Infiltración” se actualiza automáticamente.

II. Intensidad de Lluvia:

- Se determina a partir de la curva IDF.
- El usuario puede seleccionar un período de retorno específico, lo que actualizará el valor de intensidad.
- También es posible ingresar manualmente un valor de intensidad de lluvia.

III. Diseño de Zanjas:

En la parte inferior de la pestaña se muestran dos sub-pestañas:

- Distanciamiento: para determinar la separación entre zanjas.
- Dimensionalidad: para especificar las medidas de la zanja.

Esta estructura permite al usuario configurar todos los parámetros necesarios para el diseño óptimo de zanjas de infiltración.

2.1 Distanciamiento

Distanciamiento	Dimensionalidad	
Calcular distancia entre las zanjas:		
<input type="radio"/> Cuadrado	<input type="radio"/> Rectangular	<input checked="" type="radio"/> Trapezoidal
Base:	30	cm
Altura:	20	cm
Ángulo:	17.3	°
Distancia (dh):	7.029	m
<input type="button" value="Calcular"/>		

Figura 12. Subpestaña Distanciamiento.

Para determinar la distancia horizontal (dh) entre las zanjas (Figura 12), el usuario debe seguir estos pasos:

I. Seleccionar la forma transversal de la zanja deseada:

- Cuadrada
- Rectangular
- Trapezoidal

- II.** Ingresar las dimensiones asociadas con la forma transversal elegida:
 - Cuadrada: Base
 - Rectangular: Base y Altura
 - Trapezoidal: Base, Altura y Ángulo

- III.** Hacer clic en el botón “Calcular” para obtener la distancia entre zanjas.

Resultados:

- La Distancia calculada se mostrará en el campo Distancia (dh).
- En el lado derecho de la interfaz, se mostrará un diagrama transversal de la zanja con las dimensiones especificadas.

Esta herramienta permite al usuario diseñar y visualizar rápidamente la configuración de las zanjas de infiltración, facilitando la toma de decisiones en el proceso de diseño.

2.2 Dimensionalidad

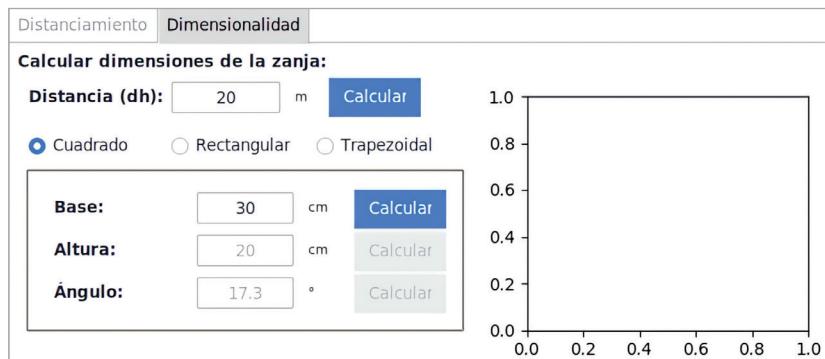


Figura 13. Subpestaña Dimensionalidad.

Para determinar las dimensiones transversales de una zanja, dada una distancia horizontal (Figura 13):

- a) El usuario debe ingresar la distancia de separación entre zanjas.
- b) Seleccionar la forma transversal deseada (Cuadrada, Rectangular o Trapezoidal).
- c) Presionar el botón “Calcular”.

Resultados:

- El programa generará propuestas de dimensiones para la forma transversal seleccionada.
- Se mostrará un diagrama transversal de la zanja en el lado derecho de la interfaz.

Esta funcionalidad permite a los usuarios explorar diferentes configuraciones de zanjas, optimizando el diseño según sus necesidades específicas y las condiciones del terreno.

SOFTWARE DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

MANUAL DE USUARIO

ISBN: 978-956-420-438-3

9 789564 204383



Cátedra UNESCO
Hidrología de Superficie
Universidad de Talca

Centro Nacional
CENAMAD
para la Industria de la Madera