

Mawün v1.0

Mauricio Zambrano-Bigiarini
contacto: mauricio.zambrano@ufrontera.cl

Rodrigo Marinao Rivas
contacto: r.marinao01@ufromail.cl

11 de Mayo del 2020

*"La serpiente puede generar las mayores calamidades para el hombre,
pero justamente por eso tiene la capacidad de salvarlo:
la serpiente mata pero también da vida, da lluvia,
y la única posibilidad de vida y de sentido para los pueblos
es estableciendo una conexión espiritual con el numen,
a pesar de ser un peligro latente"(Rosete, 2006)*

¿Qué es Mawün?

Es una plataforma web dedicada a la exploración de Estimaciones Espacialmente Distribuidas de Precipitación (EEDP) de última generación. Mawün fue desarrollada por el Observatorio de Recursos Hídricos de la [Universidad de la Frontera](#) con el apoyo del [Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia \(CR\)2](#).

Las funcionalidades desarrolladas en esta plataforma corresponde a:

- Visualización de la distribución espacial de precipitación, obtenida de distintas estimaciones precipitación.
- Comparación de series temporales de las estimaciones de precipitación con las mediciones *in-situ* de estaciones nacionales.
- Extracción y descarga de series temporales de precipitación sobre un punto cualquiera.
- Extracción y descarga de series temporales de precipitación sobre un área específica, definida a partir de un polígono proporcionado por el usuario.
- Realizar las tareas anteriores ya sea a escala diaria, mensual o anual.
- Descarga de capas diarias de precipitación (máximo de 20 capas), con la posibilidad de recortarlas y delinearlas a partir de un polígono subido por el usuario.

Acerca de este tutorial

En las últimas décadas, las EEDP se han convertido en una fuente alternativa y promisoria de datos de precipitación, ofreciendo grandes oportunidades para el avance de la investigación y actividades profesionales en el área de recursos hídricos (e.g. Zambrano-Bigiarini et al., 2017). Sin embargo, el procesamiento eficiente de estos datos puede requerir una importante inversión de tiempo para quienes están interesados en hacer uso práctico de ellos, ya sea para modelación hidrológica de cuencas, análisis de frecuencias, u otros.

Este tutorial se ha preparado para facilitar el uso de todas las herramientas implementadas en el plataforma **Mawün**, asumiendo un manejo mínimo de datos espaciales y sistemas de información geográfica. Al finalizar de leer este tutorial el usuario debiese ser capaz de visualizar la distribución espacial de diferentes EEDP para una fecha determinada, extraer series temporales de precipitación en puntos específicos definidos por el usuario, y extraer algunas capas ráster correspondientes a un producto seleccionado.

Índice

1. Pantalla principal	3
2. Visualización de la distribución espacial de la precipitación	4
2.1. Selección de fecha	4
2.2. Selección del producto de precipitación	5
2.3. Valor de precipitación en un punto (<i>PopUp</i>)	6
2.4. Agregación de series temporales	7
2.5. Ajuste de paleta de colores	8
3. Comparación punto-píxel	9
3.1. Selección del pluviómetro y descarga de datos	9
3.1.1. Desde el mapa	9
3.1.2. Utilizando el código o nombre de la estación	10
4. Extracción de series temporales	11
4.1. Extracción para un punto específico	11
4.2. Extracción sobre un área	12
5. Descarga de capas ráster	15
6. Sobre las fuentes de datos	16



1. Pantalla principal

La Figura 1 muestra una vista general de la plataforma Mawün y las principales herramientas incorporadas, las que serán detalladas en las secciones a continuación.

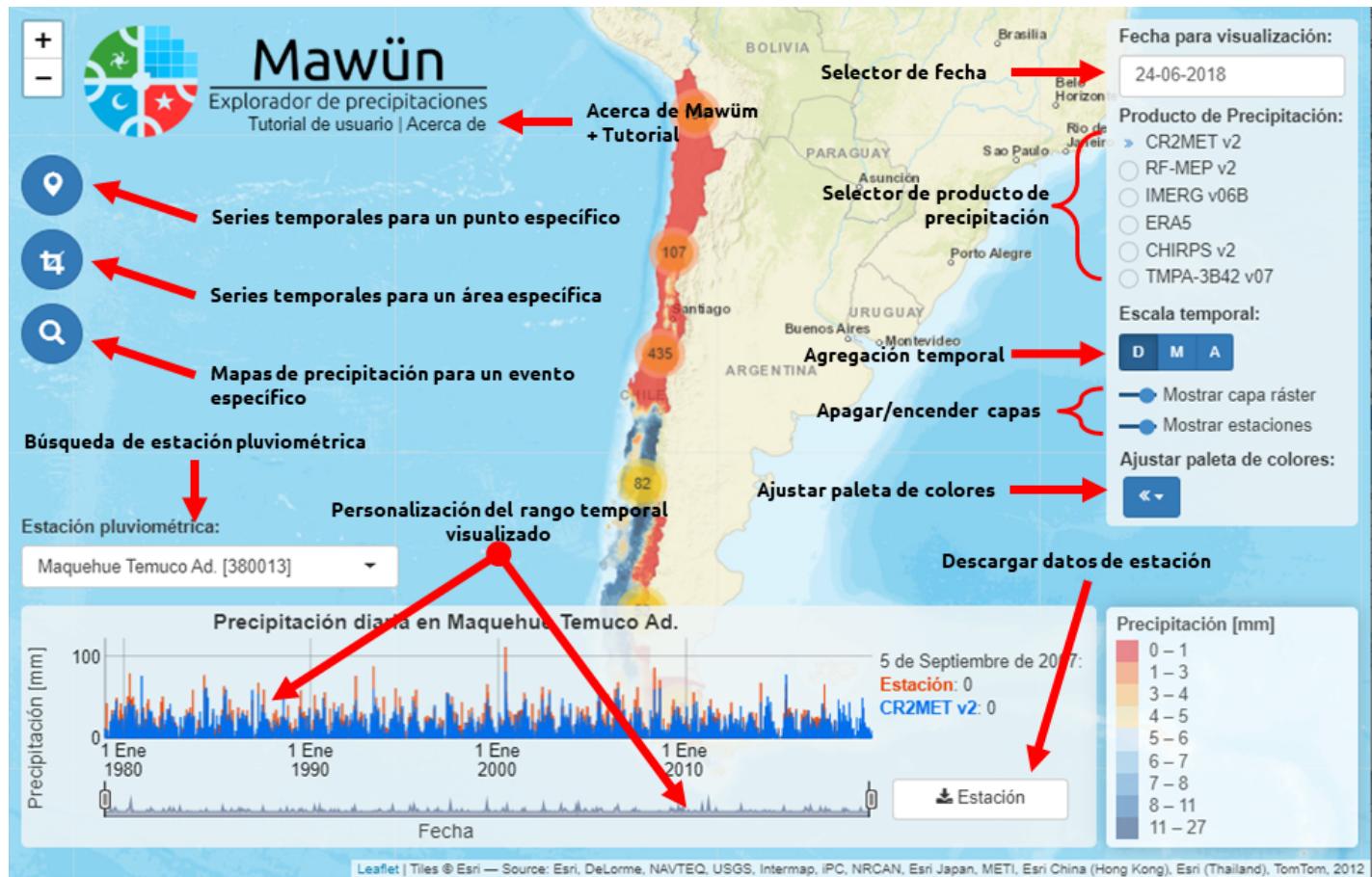


Figura 1: Pantalla principal de Mawün.

2. Visualización de la distribución espacial de la precipitación

2.1. Selección de fecha

La Figura 2 muestra que en la barra lateral derecha el usuario dispone de un selector de fechas (*Date Picker*) que permite una fácil selección del día, mes y año para el cual se desea visualizar la distribución espacial de la precipitación. La navegación a través del calendario es lo suficientemente intuitiva, pudiendo expandir la vista de selección a escala de meses, años o décadas.

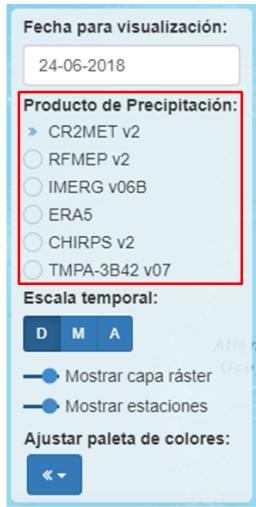


Figura 2: Selección de la fecha para la cual se quiere visualizar la precipitación.

La fecha de visualización de los datos de precipitación siempre se selecciona a escala diaria, independientemente de la agregación temporal seleccionada por el usuario para la visualización (diaria, mensual o anual). Por ejemplo, si el usuario selecciona una fecha cualquiera en el *Date Picker* mientras tiene seleccionada una agregación temporal mensual, lo único que la plataforma hace internamente es ignorar el día trabajando solo con el año y el mes seleccionados.

2.2. Selección del producto de precipitación

En la parte lateral derecha de la pantalla principal se encuentra una barra que permite seleccionar uno de los siguientes productos de precipitación para ser visualizado:



1. **CR2MET v2:** Producto desarrollado por investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (Boisier et al., 2018), basado en datos de reanálisis atmosféricos y datos locales de topografía y pluviometría.
2. **RF-MEP v2:** Producto desarrollado especialmente para Chile mediante la aplicación del algoritmo *Random Forest based MErging Procedure* (Baez-Villanueva et al., 2020). Este algoritmo permite fusionar productos grillados de precipitación con mediciones de precipitación en pluviómetros y datos de topografía.
3. **IMERG v06B:** Datos del *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (Huffman et al., 2019) v06B, que es un producto unificado de precipitación satelital producido por la NASA para estimar la precipitación superficial en la mayor parte del mundo (Huffman et al., 2019).
4. **CHIRPS v2:** *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* es un conjunto de datos de precipitación cuasi global orientado para varios objetivos de alerta temprana, como análisis de tendencias y monitoreo estacional de sequías.(Funk et al., 2015).
5. **TMPA-3B42 v07:** Conjunto de datos derivados de la aplicación del algoritmo TM-PA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*) (Tropical Rainfall Measuring Mission, 2011), el cual tomaba como base las mediciones que realizaban los instrumentos de TRMM *Tropical Rainfall Measuring Mission*.

2.3. Valor de precipitación en un punto (*PopUp*)

La Figura 3 muestra como cada vez que el usuario hace clic en un punto del mapa, aparece una ventana emergente que muestra tanto el valor de la precipitación correspondiente a la fecha y producto de precipitación actualmente seleccionados, como también el valor de la latitud y longitud del punto.

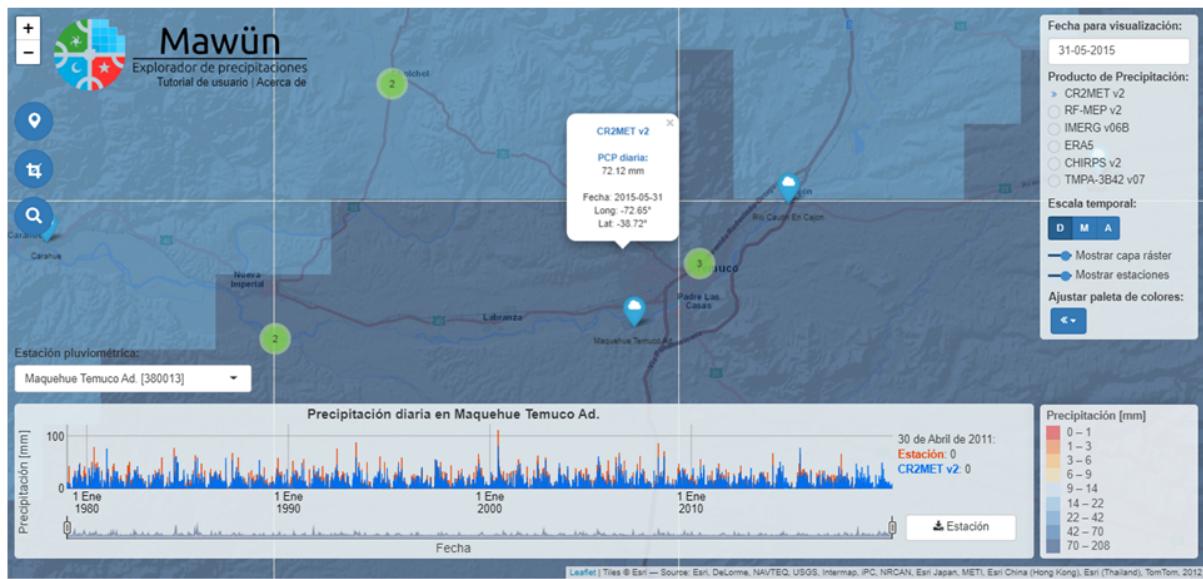


Figura 3: Visualización del valor de la precipitación en un punto.

Si el punto seleccionado coincide además con la ubicación de una de las estaciones pluviométricas utilizadas en la plataforma, el usuario obtendrá una comparación gráfica entre la serie temporal de precipitación registrada en el pluviómetro con la serie temporal correspondiente al producto de precipitación actualmente seleccionado, tal como lo muestra la figura superior.



2.4. Agregación de series temporales

Por defecto, los datos de precipitación visualizados en Mawün utilizan una escala temporal diaria, representada por la letra **D** sobre un fondo azul mostrada en la figura inferior. Sin embargo, el usuario puede seleccionar una escala temporal mensual o anual para visualizar los datos, representadas por las letras **M** y **A**, tal como se muestra en la Figura 4, respectivamente. Los datos mensuales y anuales para un píxel cualquiera de la se obtienen sumando todos los valores diarios correspondientes al mes o año de la fecha actualmente seleccionada en el *Date Picker*.

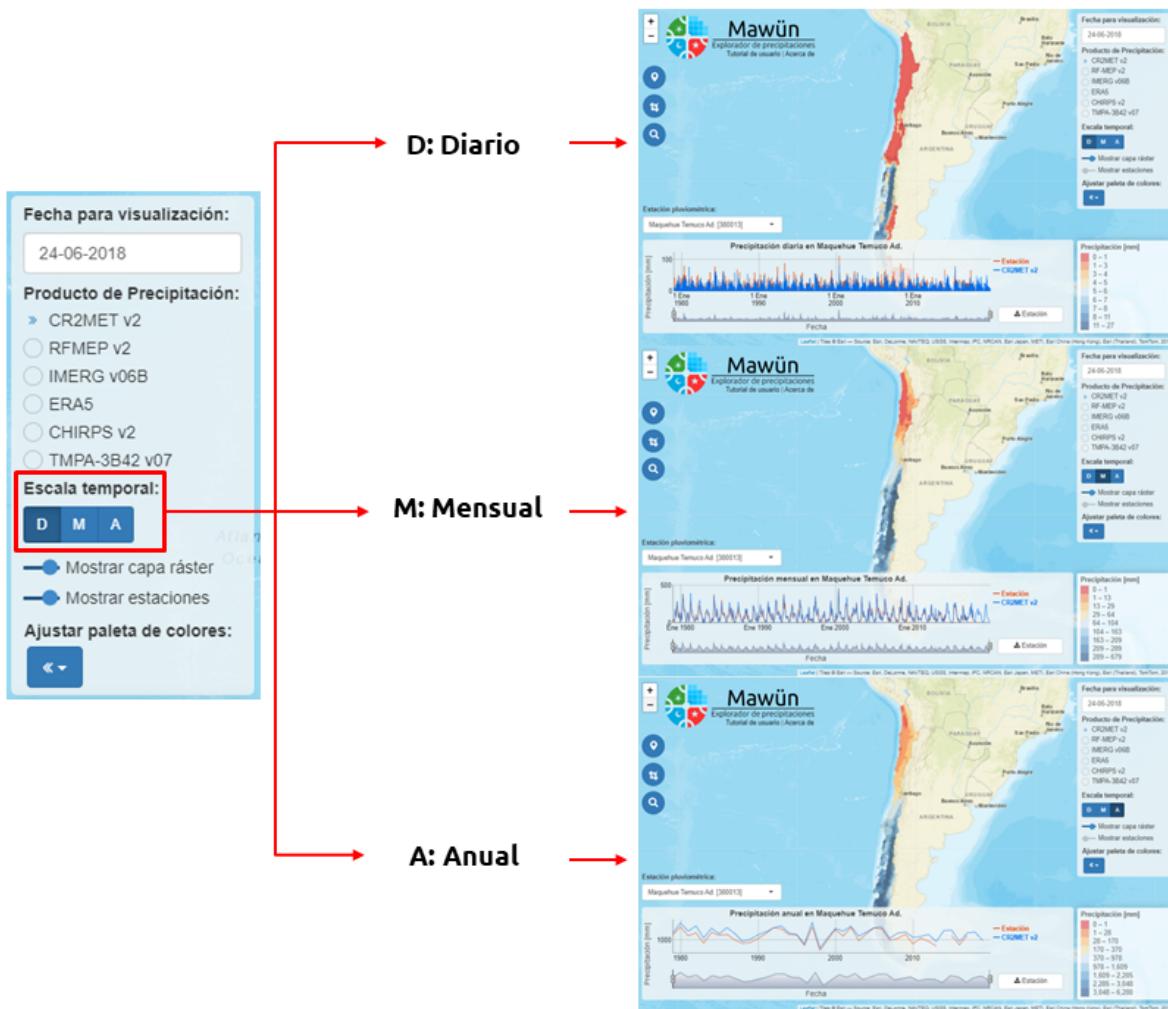


Figura 4: Agregación de series temporales en Mawün.

2.5. Ajuste de paleta de colores

La paleta de colores utilizada por defecto utilizando cuantiles tomados a intervalos regulares de la distribución de los valores de precipitación de la capa actualmente visualizada.

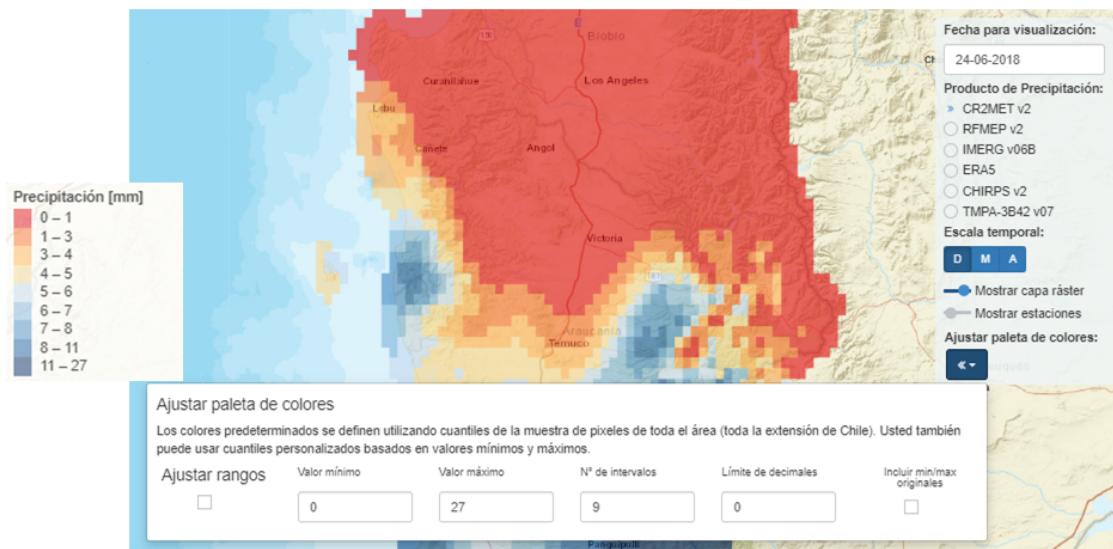


Figura 5: Personalización de la paleta de colores en Mawün.

Sin embargo, si el usuario puede modificar los valores por defecto de la paleta de colores, tal como lo muestra la Figura 5, definiendo los siguientes argumentos:

- **Valor mínimo:** número positivo que se utiliza para definir el límite inferior de los valores de precipitación mostrados en la capa actual. No se permiten valores negativos o nulos. Tampoco puede ser mayor que el valor máximo.
- **Valor máximo:** número positivo que se utiliza para definir el límite superior de los valores de precipitación mostrados en la capa actual. No se permiten valores negativos o nulos. Tampoco puede ser inferior al valor mínimo.
- **Número de intervalos:** cantidad de intervalos a utilizar en la paleta de colores.
- **Límite decimal:** número máximo de cifras decimales visualizadas en la paleta de colores.
- **¿Incluir min/max original?**: Para evitar tener áreas transparentes, el usuario puede definir si quiere trabajar con los valores extremos considerados inicialmente. Si se selecciona esta opción se agregan dos intervalos adicionales, uno para cada uno de los valores extremos de la capa.



3. Comparación punto-píxel

Las EEDP tienen un soporte espacial muy distinto al soporte espacial correspondiente a un pluviómetro, i.e., los valores de precipitación de las EEDP representan el valor promedio sobre un área espacial de varios km^2 (esta área varía con el producto seleccionado), mientras que el pluviómetro solo es representativo de algunas decenas o centenas de m^2 (dependiendo del tipo de tormenta y la topografía circundante). Por lo tanto, una comparación entre los valores de precipitación registrados por un pluviómetro y los valores de precipitación registrados por un producto grillado de precipitación no es una comparación "justa". Sin embargo, cuando no contamos con estimaciones provenientes de un radar meteorológico, una comparación "punto-pixel" es lo mejor que podemos realizar para averiguar que tan cercanos o que tan lejanos son los valores estimados por el producto grillado de precipitación con respecto a observaciones registradas por instrumentos tradicionales en tierra. En esta sección se describe como podemos realizar una comparación entre las series temporales del producto grillado de precipitación actualmente seleccionado y un pluviómetro cualquiera.

3.1. Selección del pluviómetro y descarga de datos

3.1.1. Desde el mapa

La Figura 6 muestra como el usuario puede utilizar la pantalla principal para visualizar las estaciones pluviométricas nacionales, las cuales se muestran como puntos agrupados en "clusters". Estos últimos pueden verse como marcadores azules (iconos de nubes,) cuando se utiliza el zoom de acercamiento. Las series temporales de cada pluviómetro se pueden explorar en el panel inferior, tal como lo muestra la Figura 7, donde los datos medidos por esa estación (en color rojo) se comparan con las series temporales del pixel correspondiente a la EEDP seleccionada (en color azul).

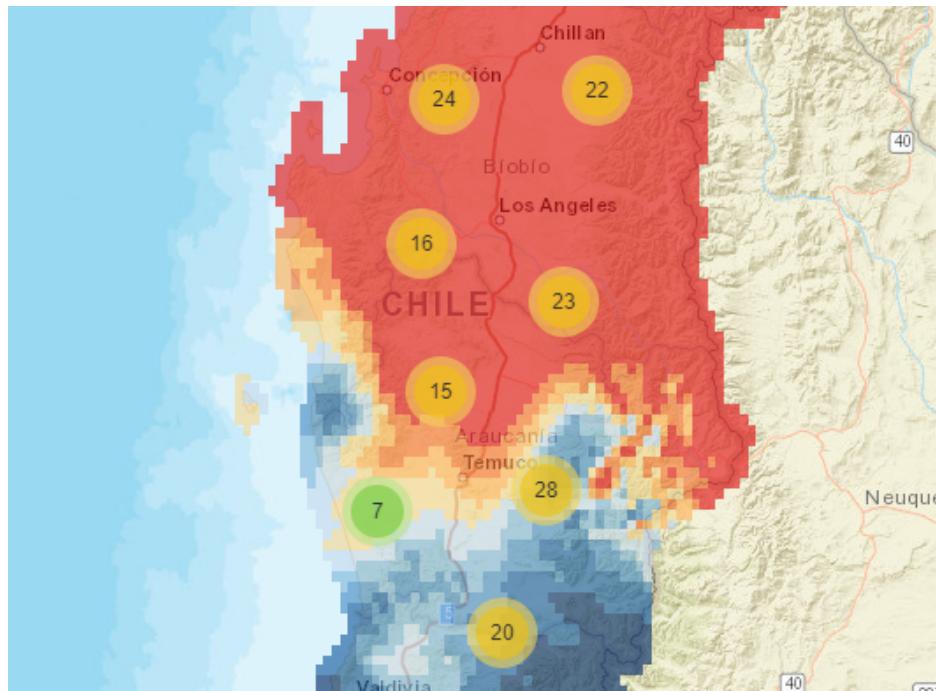


Figura 6: Selección de un pluviómetro de interés desde la pantalla principal.

La Figura 6 muestra como al hacer clic en la estación Contulmo se puede visualizar la serie temporal de la estación utilizando una escala temporal mensual (escala temporal actualmente seleccionada). La figura resultante (Figura 7), es de **visualización dinámica**, i.e., el usuario puede especificar un período de tiempo particular (e.g. una tormenta específica) utilizando el selector de rango, y solo los valores de precipitación correspondientes a dicho período serán visualizados en el panel ubicado arriba del selector de rango. Además, es posible reiniciar completamente el zoom de la figura (i.e., volver al período temporal con datos completos para este pluviómetro), haciendo doble clic en cualquier lugar del



gráfico temporal. Finalmente, la figura resultante también se actualiza dependiendo del producto de EEDP seleccionado, cambios en la escala de la pantalla y, obviamente, a la estación seleccionada.

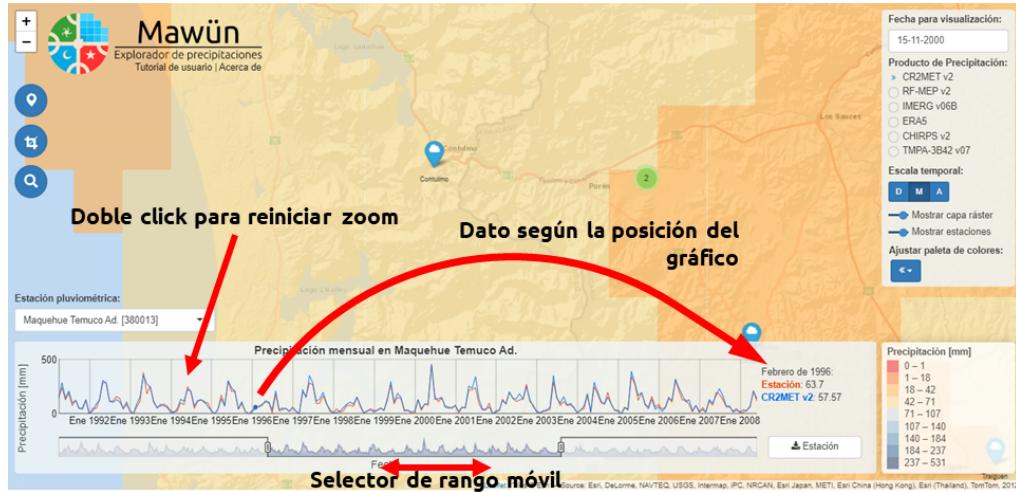


Figura 7: Visualización dinámica de la series temporal del pluviómetro seleccionado (en color rojo) y comparación contra la serie temporal de la EEDP actualmente seleccionada (en color azul).

3.1.2. Utilizando el código o nombre de la estación

Buscar estaciones en el mapa puede ser muy fácil para aquellos que conocen de antemano la ubicación geográfica de su estación de interés. Sin embargo, en muchos casos el usuario solo conoce el nombre o código (ID) de la estación que le interesa. Para estos casos, la Figura 8 muestra un selector de estaciones implementado en Mawün para que el usuario pueda comenzar la búsqueda de una estación pluviométrica ya sea utilizando el nombre o el código de la misma. Si la búsqueda es exitosa, la pantalla principal irá automáticamente al lugar donde se encuentra la estación, y el panel inferior visualizará la serie temporal de la estación y del producto de precipitación actualmente seleccionado.

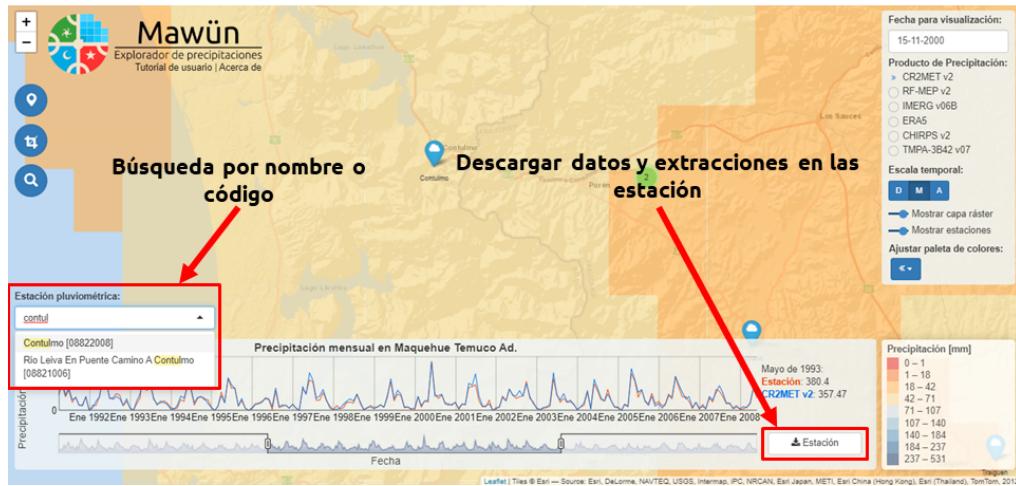


Figura 8: Búsqueda de estación pluviométrica utilizando el nombre o código (ID) de la estación.

Además, la Figura 8 muestra el botón Estación, el cual permite descargar la serie temporal con los datos de precipitación de la estación seleccionada, incluyendo además las series temporales de todos los productos de precipitación disponibles, reunidos en un único archivo de valores separados por comas (.csv).



4. Extracción de series temporales

4.1. Extracción para un punto específico

Mawün permite una fácil extracción de las series temporales de precipitación de cualquier punto de Chile. Para esto, el usuario primero tiene que hacer clic en el mapa sobre el punto para el cual desea realizar la extracción, generando un *PopUp* al instante con los datos de la capa actual (nombre de la EEDP, valor de la precipitación, fecha, longitud y latitud), tal como se muestra en la Figura 9. El usuario deberá repetir este proceso tantas veces como sea necesario hasta asegurarse de encontrar la ubicación deseada.

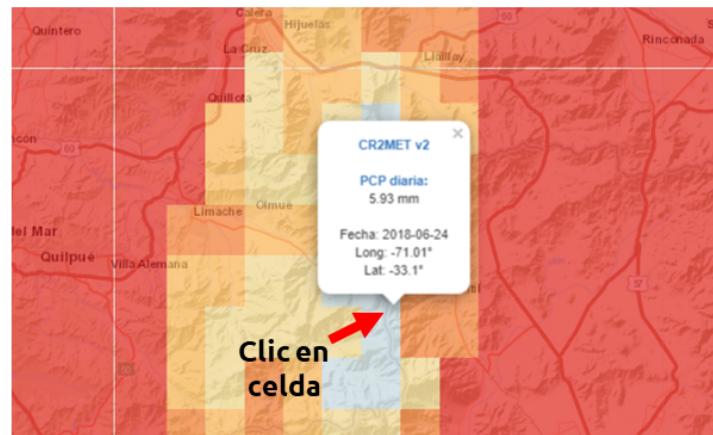


Figura 9: Selección del punto para el cual se desea extraer las series temporales de una EEDP.

Una vez seleccionado el punto para el cual se desea realizar la extracción, el usuario debe hacer clic en el ícono que activa la extracción puntual (📍), localizado en la parte superior izquierda de la pantalla principal. La Figura 10 muestra la nueva ventana que se abre automáticamente al hacer click en el ícono anterior; el usuario al seleccionar el botón 'Punto por clic en mapa' podrá asignar la coordenadas que aparecen en el *PopUp* para los campos Longitud y Latitud (en caso de que el *PopUp* esté cerrado, las coordenadas se guardarán de todos modos).

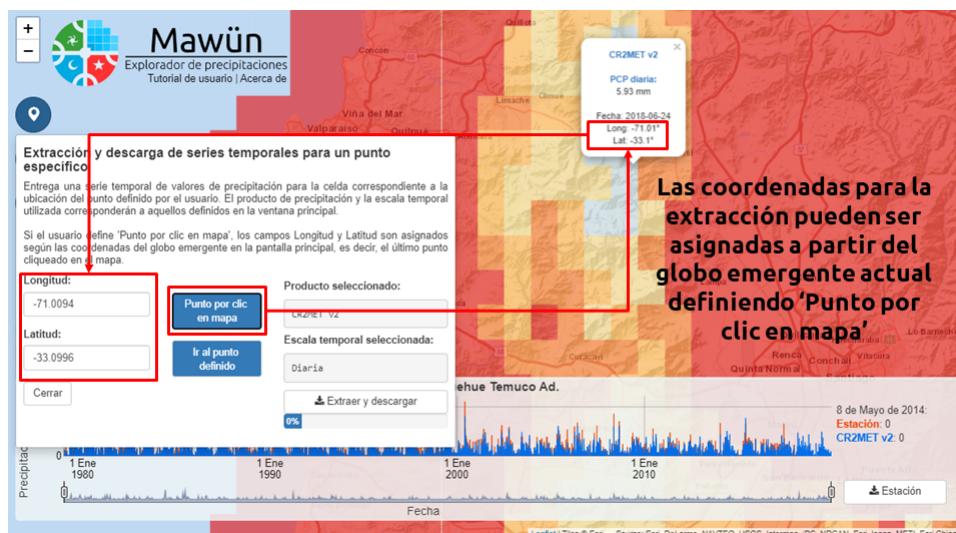


Figura 10: Ventana para extracción de series temporales correspondientes al punto seleccionado por el usuario.

Si el *PopUp* indica el punto deseado y las coordenadas coinciden con las indicadas en el panel desplegable de extracción de puntos (📍), solo queda seleccionar el producto EEDP y hacer clic en el botón **Extraer y descargar** para iniciar



la extracción, tal como se muestra en la Figura 11. El resultado de esta operación será una serie temporal donde los datos de cada día corresponden al valor de píxel donde se encuentra el punto de interés. La frecuencia temporal de la serie extraída corresponderá a la frecuencia temporal actualmente visualizada (D/M/A).

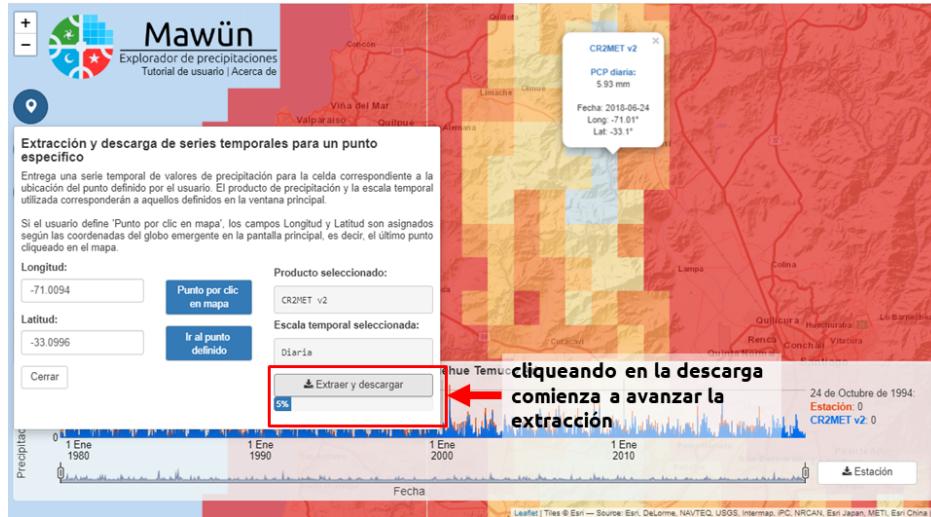


Figura 11: Uso del botón Extraer y descargar para iniciar la descarga de series temporales correspondientes al punto ya ingresado por el usuario.

Al iniciar el proceso de extracción aparece una barra de progreso (la extracción incluso puede tomar varios minutos). Cuando la extracción está completa al 100 %, la descarga del archivo .csv comienza automáticamente. Se recomienda encarecidamente que, **hasta que se complete la descarga, no se realicen tareas dentro de la plataforma**.

4.2. Extracción sobre un área

Para algunas aplicaciones prácticas no interesa conocer en detalle la distribución espacial del campo de precipitaciones, sino que solo interesa conocer el valor promedio sobre una área (e.g., una cuenca, una comuna, una región) para cada paso de tiempo. Por esto, Mawün ha implementado una función llamada promedio en extensión areal. La Figura 12 muestra como el usuario puede ingresar un polígono que defina los bordes del área de su interés para que Mawün calcule el valor promedio para cada paso de tiempo (de acuerdo a la escala temporal actualmente seleccionada).

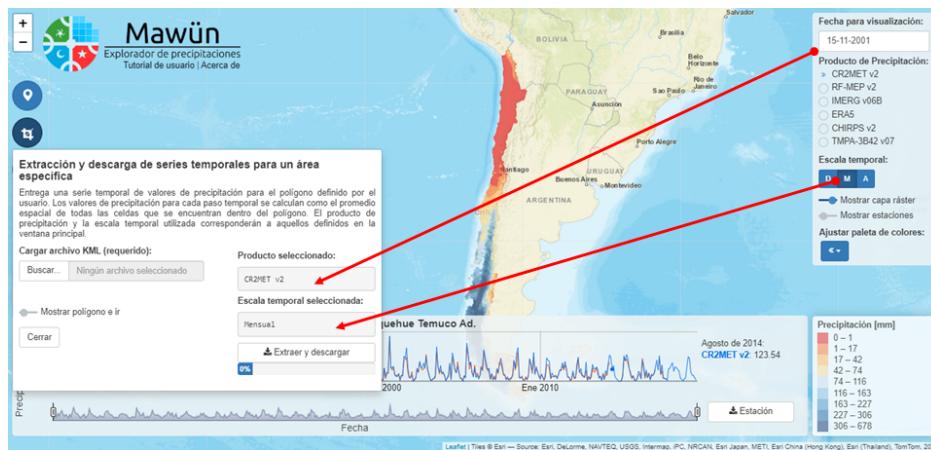


Figura 12: Extracción de series temporales correspondientes al promedio espacial sobre una área espacial definida por el usuario.

El formato admitido para el polígono a ingresar es Keyhole Markup Language o KML. Este formato fue seleccionado debido a que, a diferencia del ampliamente difundido ESRI Shapefile, el formato KML consiste de un solo archivo, lo cual es más práctico tanto para el usuario como para Mawün. Si el único polígono con el que cuenta el usuario está en formato ESRI Shapefile, puede convertirlo fácilmente a formato KML mediante el uso de algún Sistema de Información Geográfica, tal como [QGIS](#) (público, gratuito y de alta calidad).

La Figura 13 muestra como al hacer clic en el botón Cargar archivo KML se abre una nueva ventana que permite seleccionar el archivo KML desde el computador del usuario. Mawün asume que el usuario está utilizando un polígono que está correctamente definido, independientemente del Sistema de Referencia de Coordenadas (CRS) que tenga. Una vez seleccionado, la carga del archivo comenzará de inmediato.

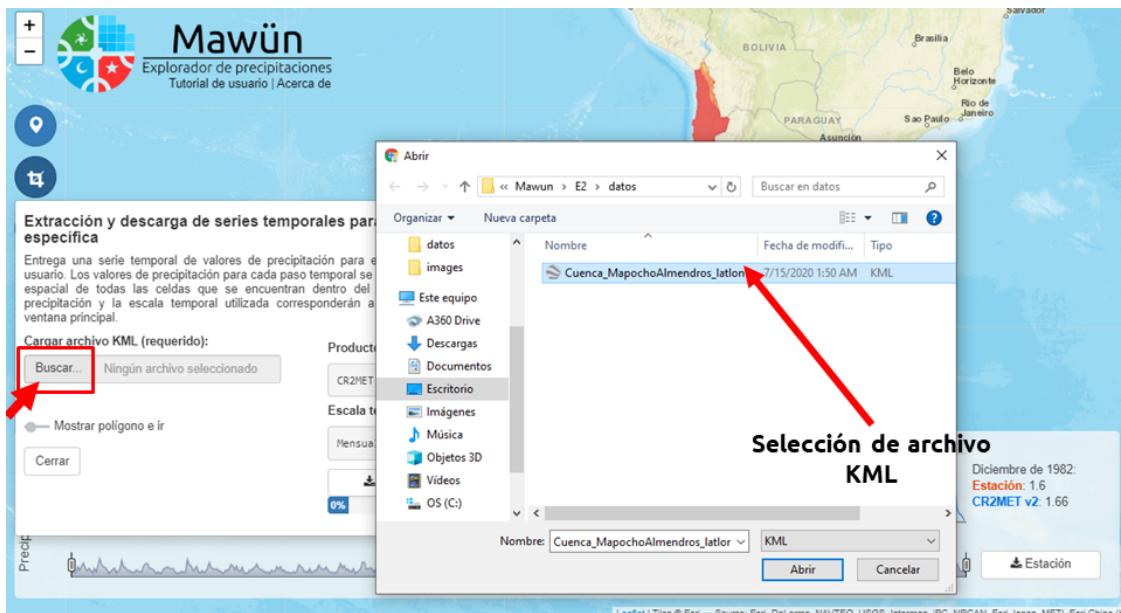


Figura 13: Selección del archivo KML que define el área geográfica para la cual se desea extraer las series temporales.

Es necesario mencionar que **Mawün utiliza internamente coordenadas geográficas** para el manejo de las capas ráster y vectoriales. Sin embargo, es posible ingresar el polígono en cualquier Sistema de Referencia de Coordenadas (CRS), y Mawün realizará automáticamente la transformación antes a la extracción de datos.

La Figura 14 muestra como después de cargar el archivo KML, Mawün integra rápidamente el polígono y mueve la vista de la pantalla principal a la ubicación geográfica del polígono cargado. Así, el usuario puede verificar que el área cubierta es en realidad su área de estudio.

En caso de que el archivo no sea un polígono simple, la plataforma realizará tantas extracciones como características tenga el polígono, lo que por supuesto significará más tiempo en la extracción.

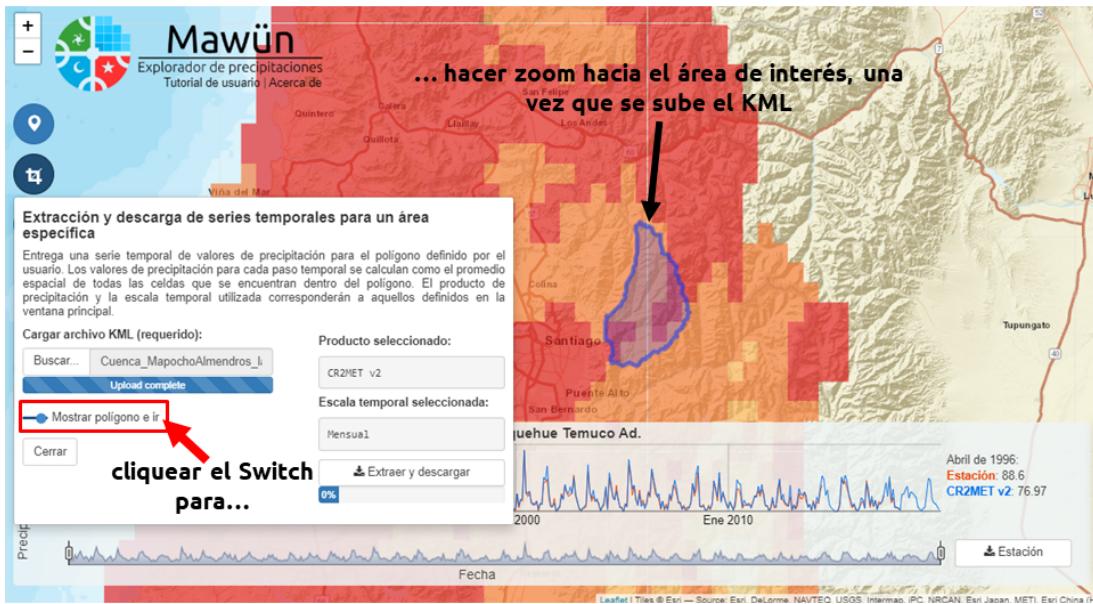


Figura 14: Visualización del polígono cargado anteriormente por el usuario desde un archivo KML.

Una vez que el usuario verifica que todo está en orden, puede iniciar la extracción de las series temporales correspondientes a la EEDP seleccionada, para lo cual debe hacer clic en el botón **Extraer y descargar** que se muestra en la Figura 15.

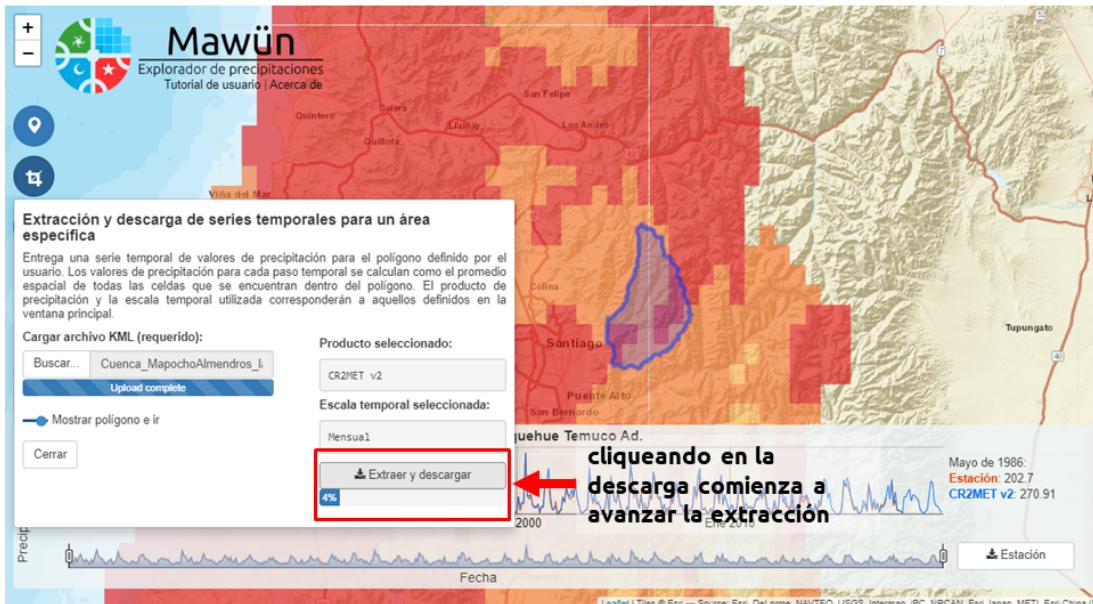


Figura 15: Uso del botón **Extraer y descargar** para iniciar la descarga de series temporales correspondientes al polígono ya ingresado por el usuario.

Al iniciar el proceso de extracción aparece una barra de progreso (la extracción incluso puede tomar varios minutos). Cuando la extracción está completa al 100 %, la descarga del archivo .csv comienza automáticamente. Se recomienda encarecidamente que, **hasta que se complete la descarga, no se realicen tareas dentro de la plataforma**.



5. Descarga de capas ráster

En algunas ocasiones el usuario puede estar interesado en la visualización de la variación espacial y temporal de la precipitación durante un evento de precipitación particular. Para esto, Mawün ha implementado la posibilidad de descargar un máximo de 20 capas diarias de precipitación haciendo clic en el botón **Q**, el cual se encuentra ubicado en la parte superior izquierda de la ventana principal. Al hacer clic en el botón anterior se abre una nueva ventana, tal como muestra la Figura 16, la cual permite utilizar una *barra deslizante* para seleccionar el número de capas ráster (diarias) que serán descargadas a partir de una fecha inicial. Al hacer clic en el botón **Descargar capas**, se inicia el proceso de descarga para la EEDP actualmente, utilizando toda la extensión espacial de dicha EEDP.

Por defecto, la fecha inicial utilizada para la descarga corresponde a la fecha actual indicada en el recuadro de fecha de la ventana principal. El usuario tiene la posibilidad de examinar el conjunto de capas del evento a descargar, a través del botón **Ver capas**, ta como se indica en la Figura 17.

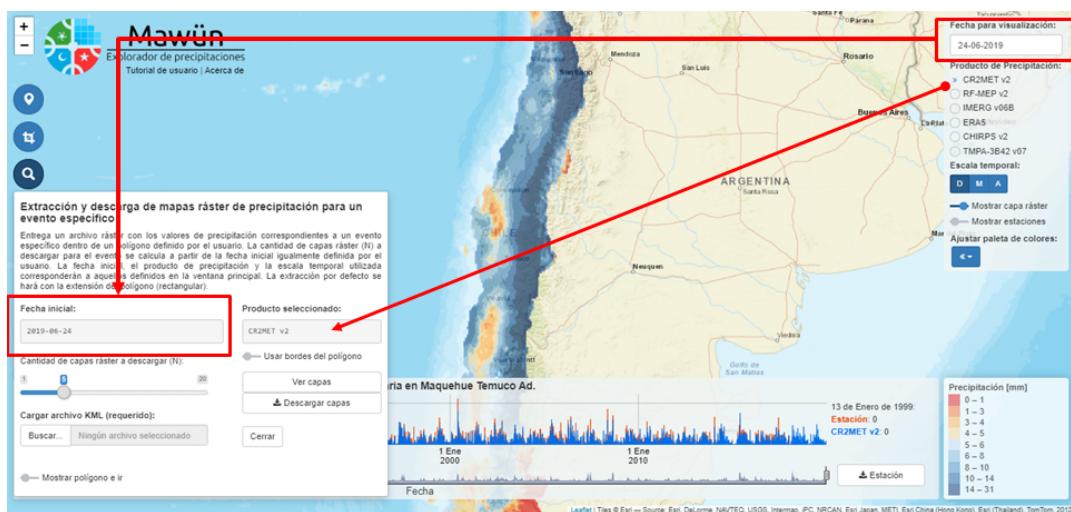


Figura 16: Panel de descarga de capas ráster de precipitación diaria a partir de una fecha inicial.

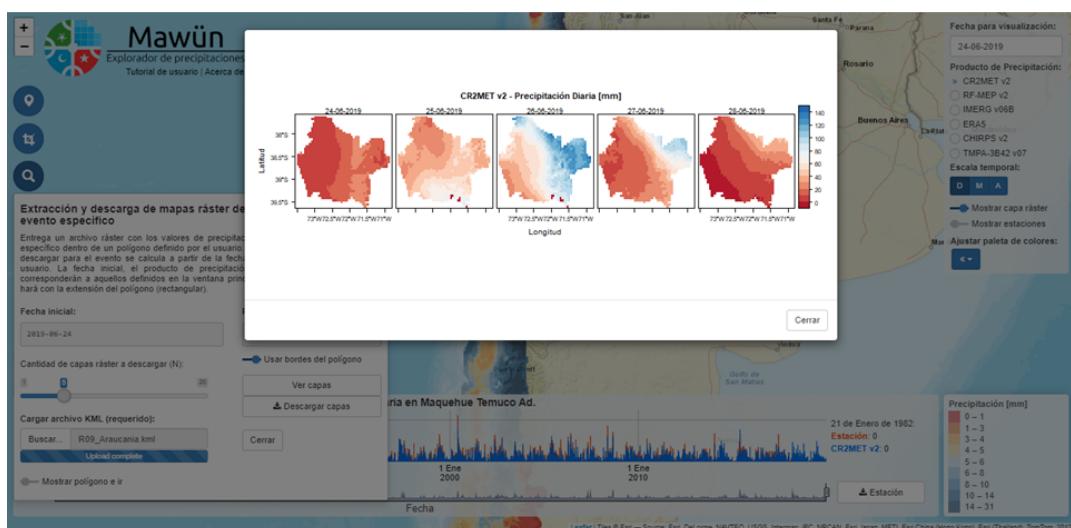


Figura 17: Uso del botón **Ver capas** para explorar las capas ráster antes de la descarga.

6. Sobre las fuentes de datos

Los datos de precipitación visualizados en Mawün provienen de fuentes nacionales e internacionales. Estos productos se pueden agrupar en tres grandes familias: datos puntuales medidos en pluviómetros (DGA, DMC), productos satelitales (CHIRPSv2, TMPA3B42-v7, IMERG v06B, con calibración en base a algunos datos puntuales), reanálisis climático (ERA5), y productos que fusionan datos grillados con mediciones en pluviómetros locales (CR2METv2, RF-MEPv2). Para una información detallada de cada producto se debe consultar las referencias de cada producto. A continuación se detallan dichas referencias y se entrega una breve descripción de cada uno de los productos disponibles en Mawün:

1. **Datos puntuales medidos en pluviómetros:** Estos datos son recolectados diariamente por las siguientes dos instituciones gubernamentales:
 - Dirección General de Aguas (DGA): dga.mop.gob.cl
 - Dirección Meteorológica de Chile (DMC): climatologia.meteochile.gob.cl
2. **CR2MET v2:** Producto chileno desarrollado por investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (Boisier et al., 2018), basado en datos de reanálisis atmosféricos y datos locales de topografía y pluviometría. Este producto está disponible para el período 1979-2019 con una resolución espacial de 0.05°.
3. **IMERG v06B:** Datos derivados de la aplicación del algoritmo unificado *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*, que proporciona el producto de precipitación multisatélite para el equipo GPM (misión *Global Precipitation Measurement* iniciada el 2014) de EE. UU. (Huffman et al., 2019). Este producto está disponible para el período 2001-2019 con una resolución espacial de 0.1°.
4. **RF-MEP v2:** Este conjunto de datos de precipitación fue generado especialmente para Chile mediante la aplicación de la metodología *Random Forest based MERging Procedure* (RF-MEP) (Baez-Villanueva et al., 2020), combinando series de tiempo registradas en 331 pluviómetros obtenidos de CR2 (<http://www.cr2.cl/datos-de-precipitacion/>) con datos del reanálisis ERA5 (Hersbach & Dee, 2016) y un modelo digital de superficie (SRTM V4.1; Jarvis et al. (2008)). Para compensar las subestimaciones sistemáticas de P en las zonas de mayor elevación (Beck et al., 2020; Baez-Villanueva et al., 2020; Alvarez-Garreton et al., 2018) RF-MEP aplica los factores de corrección de sesgo de alta resolución espacial (0.05°) calculados para la climatología CHELSA V1 por Beck et al. (2020). Estos factores se utilizan para ajustar las estimaciones mensuales anuales promedio de P de RF-MEP. Este producto está disponible para el período 1982-2018 con una resolución espacial de 0.05°.
5. **ERA5:** Datos de precipitación del modelo de reanálisis atmosférico de quinta generación del ECMWF (Copernicus Climate Change Service, 2017), el cual proporciona estimaciones de precipitación en todo el planeta. Este producto está disponible para el período 1979-2018 con una resolución espacial de 0.25°.
6. **CHIRPS v2:** *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* es un conjunto de datos de precipitación cuasi global orientado para varios objetivos de alerta temprana, como análisis de tendencias y monitoreo estacional de sequías. (Funk et al., 2015). Este producto está disponible para el período 1981-2019 (solo hasta los 50°S) con una resolución espacial de 0.05°.
7. **TMPA-3B42 v7:** Conjunto de datos derivados de la aplicación del algoritmo TMPA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*) (Tropical Rainfall Measuring Mission, 2011), el cual tomaba como base las mediciones que realizaban los instrumentos de TRMM *Tropical Rainfall Measuring Mission*. 'Realizaban' porque los instrumentos de TRMM fueron apagados el 2015 luego de que comenzara a descender de órbita (Clark, 2014), poniendo fin a 17 años medición incesante. Si bien TMPA se negó a morir y siguió funcionando en la era de GPM, se finalizó su producción en 2019. El legado de TRMM abrió grandes ventanas a la investigación en materia de mediciones satelitales de precipitación, tarea que hoy carga la misión GPM, que principalmente se traduce en el producto IMERG. Este producto está disponible para el período 1998-2018 con una resolución espacial de 0.25°.

Referencias

- Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., Cortes, G., Garreaud, R., McPhee, J., et al. (2018). The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies-Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11):5817–5846. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5817-2018>.
- Baez-Villanueva, O. M., Zambrano-Bigiarini, M., Beck, H. E., McNamara, I., Ribbe, L., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., Giraldo-Osorio, J. D., & Thinh, N. X. (2020). RF-MEP: A novel Random Forest method for merging gridded precipitation products and ground-based measurements. *Remote Sensing of Environment*, 239:111606. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111606>.
- Beck, H. E., Wood, E. F., McVicar, T. R., Zambrano-Bigiarini, M., Alvarez-Garreton, C., Baez-Villanueva, O. M., Sheffield, J., & Karger, D. N. (2020). Bias correction of global high-resolution precipitation climatologies using streamflow observations from 9372 catchments. *Journal of Climate*, 33(4):1299–1315. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0332.1>.
- Boisier, J. P., Alvarez-Garretón, C., Cepeda, J., Osses, A., Vásquez, N., & Rondanelli, R. (2018). CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for hydroclimatic research in chile. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, volume 20, page 19739. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..2019739B/abstract>.
- Clark, S. (2014). Rainfall research satellite begins descent from orbit. *Spaceflight Now*. url:https://spaceflightnow.com/news/n1408/15trmm/#.U_Ee3WPF7Qw.
- Copernicus Climate Change Service (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., et al. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1):1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- Hersbach, H. & Dee, D. (2016). ERA5 reanalysis is in production, ECMWF newsletter 147, ECMWF. *Reading, UK*.
- Huffman, G., Stocker, E., Bolvin, D., Nelkin, E., & Jackson, T. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06. doi:[10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06](https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06).
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., Guevara, E., et al. (2008). Hole-filled SRTM for the globe version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database.
- Rosete, F. (2006). Aby warburg: moderno katharmós. *Andamios*, 2(4):275–277.
- Tropical Rainfall Measuring Mission (2011). TRMM (TMPA) Rainfall Estimate L3 3 hour 0.25 degree x 0.25 degree V7. doi:[10.5067/TRMM/TMPA/3H/7](https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/3H/7).
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2):1295. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>.