

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**CUANTIFICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA  
PRECIPITACIÓN EN EL VALLE DE SANTIAGO: UNA INICIATIVA DE  
CIENCIA CIUDADANA**

**LUCAS GLASNER V.<sup>1</sup>**  
**PABLO SARRICOLEA E.<sup>2</sup>**  
**PATRICIO ACEITUNO G.<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

Los proyectos de ciencia apoyados por voluntarios nacen como una alternativa a complicaciones metodológicas de las ciencias ambientales. En la cuenca del Río Maipo, el valle de Santiago alberga 6 millones de habitantes cuyo uso del agua depende directamente de las lluvias invernales. En este ámbito, mediciones de precipitación con una densa distribución en el espacio es ejemplar para cualquier estudio de hidrología urbana. En este caso el proyecto consta de una red de pluviómetros artesanales operados por voluntarios, los que junto a estaciones meteorológicas automáticas, permiten una cobertura observacional relativamente densa para caracterizar la distribución espacial de lluvia en el valle de Santiago. En el 2021, las observaciones de esta red han permitido concluir que el sector oriente de la ciudad en al menos un episodio recibió 6 veces más precipitación que la zona poniente. Diferencia que se atribuye en forma significativa a la intensificación de la precipitación asociada al ascenso forzado del aire en la pendiente andina y a la sombra orográfica que produce la cordillera de la costa. Finalmente, el proyecto ha generado una instancia educativa en temáticas de meteorología e hidrología en la población general a través de la difusión de sus resultados en medios masivos de comunicación como prensa escrita y radio.

---

<sup>1</sup> Estudiante, Departamento de Ingeniería Civil y Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM), Universidad de Chile - e-mail: lucas.glasner@ug.uchile.cl

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad de Chile – e-mail: psarricolea@uchilefau.cl

<sup>3</sup> Director del proyecto. Profesor Emérito, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM), Universidad de Chile – e-mail: aceituno@uchile.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

Las iniciativas de ciencia ciudadana (ICC) son proyectos necesarios para conectar las diversas áreas del conocimiento con la sociedad civil. Las actividades que se llevan a cabo en ellas permiten permear el conocimiento científico a la sociedad, fortalecer el nexo entre los profesionales de las ciencias e ingeniería con el ciudadano de a pie y generar directamente un impacto tangible y educativo en la ciudadanía. Las ICC se han entendido tradicionalmente como actividades de divulgación, valiosas en sí mismas, pero también podrían ser consideradas las iniciativas de organización de voluntarios(as) destinadas a colaborar en un objetivo común. Estos proyectos tienen la característica de que se establece una relación de mutuo beneficio entre los voluntarios y organizadores, donde los participantes, mientras acceden a una actividad formativa en un área de su interés, pueden colaborar en iniciativas que por sus hipótesis y objetivos, se benefician del apoyo e información recolectada por los voluntarios.

Esto es particularmente relevante para los trabajos de disciplinas relacionadas con el medio ambiente y recursos hídricos, donde la falta de antecedentes y observaciones suele ser un problema frecuente. Por otro lado, el interés de la sociedad en temáticas ambientales ha aumentado globalmente en los últimos años (basado en la percepción subjetiva que dan los medios de comunicación), de manera que la factibilidad de involucrar a la ciudadanía en proyectos de ciencia e ingeniería se ha transformado en una alternativa para lidiar con la falta de información.

Específicamente, estudios que involucran análisis cómo la puesta a prueba de hipótesis, la elaboración de planes de conservación, cálculo de disponibilidad de recursos, etc, requieren de mediciones que, bajo el paradigma reinante, la mera captura involucra profesionales experimentados. Sin duda esta es la situación ideal para cualquier campaña de mediciones, pero generalmente existen limitaciones de recursos, redes humanas y tiempos que lo dificultan. Es en este contexto donde las ICC pueden otorgar información y datos, los cuáles mediante una validación resultan provechosos en el desarrollo de un proyecto ambiental y de interés para los colaboradores.

Dependiendo de la disciplina y las hipótesis, las mediciones de una ICC pueden ser de menor o mayor complejidad. Aún así, se pueden destacar iniciativas globales como el “(My)Ocean Sampling Day” (Kopf et al., 2015; Schnetzer et al., 2016), que organiza un evento planetario de filtrado y toma de muestras de agua de mar para un mismo día. Las muestras se envían por correo internacional al laboratorio para el posterior análisis de secuencias genéticas. Esto ha concluido en trabajos como el artículo de Margot Tragin y Daniel Vaultot (2018), donde se describe para un mismo día la diversidad de microorganismos fotosintéticos y su relación con los parámetros físico-químicos (salinidad, nutrientes, temperatura, etc.) de distintas regiones costeras del mundo.

Dentro de las iniciativas nacionales atinentes a los recursos hídricos, se puede destacar la organización independiente que da origen a la red nacional de Meteo-Aficionados (RedMeteo, 2018). Ésta fomenta la captura de datos de precipitación, temperatura, viento y presión atmosférica mediante estaciones automáticas, con fines operacionales y recreativos. También se destaca el trabajo del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas

(CEAZA), responsable del proyecto “Vecinos de las Nieves” (CEAZA, 2018). En este proyecto se capacita a voluntarios para enviar muestras de nieve fresca y fotografías de la cordillera nevada en la región de Coquimbo. Esto ha llevado a cuantificar las propiedades isotópicas y químicas del agua junto con la elevación observada de la línea de nieves en cuencas como las de los ríos Limarí, Elqui y Choapa.

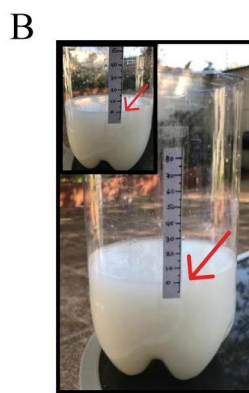
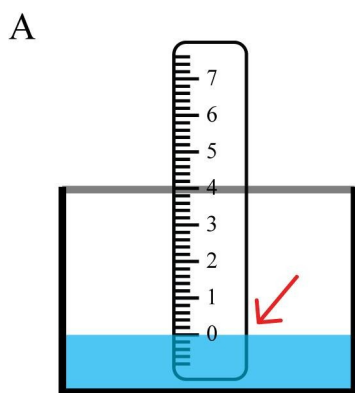
Es en el contexto de este tipo de actividades que nace este proyecto en el cual, considerando la mayor presencia de las personas en sus domicilios debido a la epidemia COVID19 y las restricciones de movilidad asociadas, se organizó una ICC destinada a medir la precipitación en el valle de Santiago y sectores aledaños. A través de esta iniciativa, que cuenta con una red de más de 100 voluntarios, ha sido posible cuantificar la distribución espacial de la precipitación en los eventos de lluvia durante el invierno anormalmente seco de 2021, a partir de mediciones realizadas con pluviómetros artesanales y registros provenientes de estaciones meteorológicas automáticas. El objetivo específico del proyecto es cuantificar los efectos orográficos y urbanos en una escala horizontal suficiente como para capturar su variabilidad espacial.

En el presente artículo se documenta los detalles técnicos de las etapas de diseño, logística interna y los resultados obtenidos con el desarrollo e implementación de la red. Finalmente, a modo de síntesis, se reflexiona sobre los alcances de la iniciativa junto con algunos de los planes futuros para la red y el uso de los datos que de ella se obtienen.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Diseño instrumental

Los voluntarios deben armar un pluviómetro artesanal como se indica en la Figura 1A compuesto por un recipiente libre de filtraciones y de material no absorbente (e.g. vidrio, plástico, metal, etc.) de paredes verticales, de tal modo que el área transversal no cambie entre el nivel de referencia inicial y el borde superior.



**Figura 1: Modelo Pluviómetro Ciudadano.** Diseño básico para la fabricación de pluviómetros de uso casero. (A) Figura esquemática de pluviómetro para realizar una medición efectiva. (B) Ejemplo de pluviómetro ciudadano fabricado con materiales de bajo costo disponibles para la población general.

El recipiente debe llenarse con aproximadamente 8 cm de agua a partir de la zona inferior como se muestra en el ejemplo de la figura 1B. Se recomienda agregar un colorante al

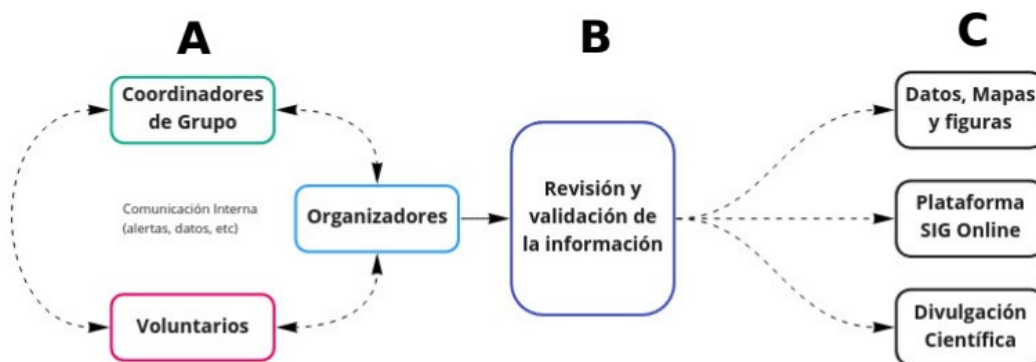
líquido (café, leche u otro) para facilitar la medición. El instrumento debe incluir una escala de medición con resolución de milímetros (regla o graduación) de modo tal que el valor de referencia de la escala corresponda al nivel del líquido previo al evento de precipitación. Finalmente, el pluviómetro debe ser colocado a cielo abierto bajo la lluvia en un lugar que no presente obstáculos, como patios, azoteas de edificios, techos, etc, y agregar peso en el fondo para prevenir volcamiento por el viento. Su instalación se informa mediante una fotografía. En el presente proyecto, aún en fase piloto, no se ha considerado hasta ahora medidas específicas para la medición en caso de precipitación nival, la que por otra parte no ocurrió en ninguno de los puntos de observación. Tampoco interesa medir todos los episodios, sino que aquellos en que se acumula un monto significativo de precipitación en toda la cuenca, que permitan evaluar los efectos topográficos.

## **2.2. Logística y organización de la red**

Respecto de los voluntarios(as) que han participado en esta iniciativa piloto, se mantiene un registro con su nombre, correo electrónico, comuna, un alias de su punto de medición (una palabra de libre elección), y las coordenadas geográficas (latitud, longitud) de su pluviómetro, estas últimas obtenidas mediante la aplicación *Google Maps* del celular de cada participante.

La red de colaboradores se estructura jerárquicamente en un equipo organizador, constituido por los co-autores de este artículo, presidido por el director del proyecto (Patricio Aceituno), coordinadores de grupo (CG) y voluntarios. Éstos últimos se distribuyen en grupos de 10 a 15 personas los cuáles son dirigidos por los CG mediante la aplicación de mensajería electrónica Whatsapp. Los CG comparten mutuamente un grupo adicional, en el cual se encuentran los organizadores del proyecto junto con voluntarios dispuestos a participar de la iniciativa con mayores responsabilidades. Los CG tienen la función de organizar los grupos individuales de voluntarios, con el objetivo de solucionar problemas y de recolectar los datos registrados en eventos de precipitación. Utilizando el pronóstico meteorológico de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y otros modelos globales de uso público (GFS, ECMWF, ICON, etc.) disponible en plataformas web (Windy, Wxmaps, Meteorologix, etc.), la dirección del proyecto solicita a los CG que circulen una alerta entre los voluntarios para que se instalen los pluviómetros, cuando se anticipa la ocurrencia de un evento de precipitación acumulada mayor o igual a 10 milímetros. Una vez concluido el evento se solicita a los voluntarios registrar sus observaciones de precipitación acumulada y compartirla con los CG. Éstos últimos comparten los datos con el equipo organizador que se encarga de revisar y procesar la información, así como de la elaboración de los mapas con la distribución espacial de la precipitación acumulada. En el proceso de despliegue gráfico de la información se detectan, corrigen o eliminan datos espacialmente inconsistentes asociados a errores evidentes de medición, de acuerdo a un protocolo que se describe en la sección 2.3. La información depurada, tanto numérica como gráfica (mapas), se distribuye entre los voluntarios de la iniciativa. En una segunda fase de la iniciativa, tanto los datos recopilados como los mapas elaborados a partir de ellos, serán de carácter público con libre acceso en una plataforma Web.

En la Figura 2 se presenta un esquema organizacional del proyecto, destacando su estructura observacional (A); el proceso de recopilación y validación de la información (B); los productos generados y acciones de difusión de resultados (C).



**Figura 2: Esquema conceptual de la logística y productos de la red.** La sección A ilustra la interacción y comunicación interna, la sección B la etapa de control de calidad y la sección C los productos y resultados que derivan de la iniciativa.

### 2.3. Post-procesamiento y despliegue de la información a los usuarios

La red observacional que se constituyó en el proyecto permite construir una base de datos de precipitación distribuida en el espacio, la cual adicionalmente para cada coordenada geográfica se tienen atributos y metadatos (alias, nombres, correos, etc.). Con los datos de la red se realizan mapas de precipitación acumulada durante el evento, incorporando además información pluviométrica de estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), la Dirección General de Aguas (DGA), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), disponible en los sitios Web de la DMC y DGA. Adicionalmente se analiza la distribución de lluvia, se determinan valores medios/extremos y se compara mediante una inspección visual los resultados obtenidos en los pluviómetros ciudadanos (PPCC) y en las estaciones meteorológicas. Para cuantificar el efecto de la orografía se consideran sólo los registros dentro del valle de Santiago y se construye un modelo de regresión lineal utilizando la elevación como único predictor. Esto se contrasta con el patrón sinóptico dominante, el cual se obtiene directamente del pronóstico y para este documento se esquematiza mediante una imagen visible del satélite MODIS para el día previo al evento. Finalmente, la información topográfica para el valle de Santiago se obtiene del modelo digital de elevación de SRTM con una resolución horizontal de 30x30 metros, producto cuyos datos están en un orden de magnitud de metros.

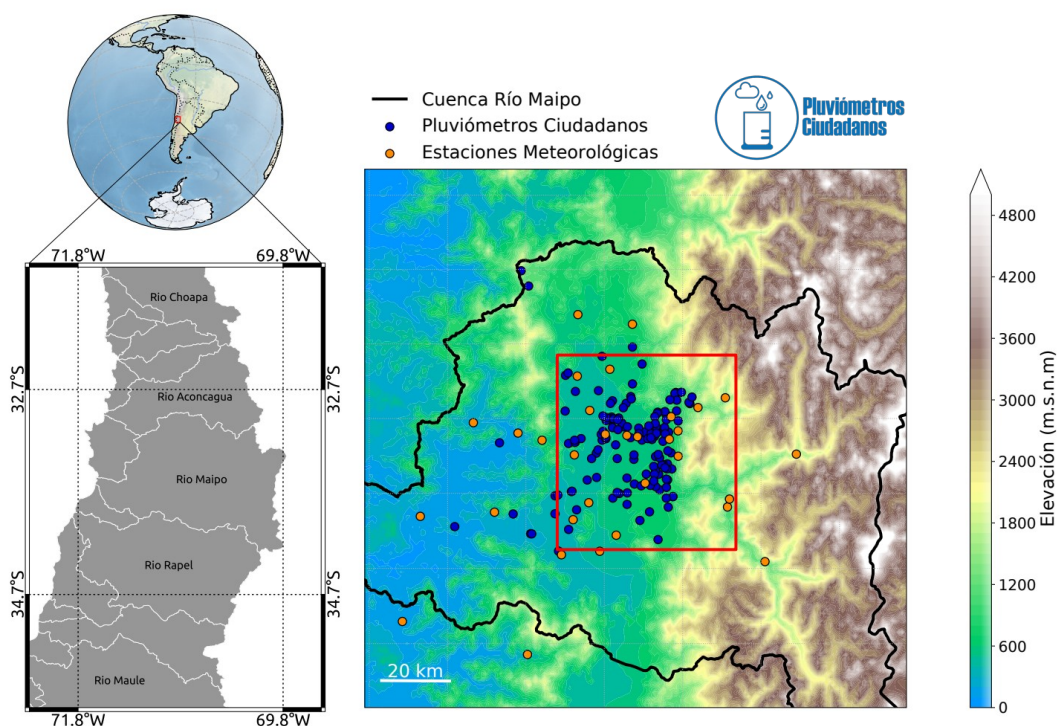
Adicionalmente, la precipitación pasa por un proceso de interpolación espacial el cuál se realiza en la plataforma de ArcGis-Online usando el método *Empirical Bayesian Kriging* (EBK). Éste es el método más preciso de los que dispone la plataforma y ha sido utilizado en otros trabajos recientes (Ali *et al.* 2021). Esta interpolación usa de entrada solamente el dato de los pluviómetros con registros del evento, y entrega como salida una superficie de valores continuos de precipitación y una superficie de error estándar. Ambas salidas son

automáticamente vectorizadas en ArcGis-Online, por lo que no hay un tamaño de pixel asociado. Esta interpolación realiza hasta 200 simulaciones de semivariogramas (*K-Bessel*), considerando 15 puntos cercanos para cada interpolación y extrapolación.

Finalmente, los resultados de la interpolación y del error son guardados en un Web map que incluye las localizaciones de los puntos de observación. Éstos últimos son integrados en un cuadro de mando (Dashboard) de ArcGis, que posee la potencialidad y ventaja de mostrar de modo interactivo la información, es decir, que las personas puedan realizar acercamientos, cambiar el mapa de fondo, consultando los datos de modo puntual y de las superficies interpoladas.

### 3. RESULTADOS

Tanto el número de observadores como de estaciones meteorológicas automáticas con información disponible varían entre los eventos. Por ejemplo, el evento del 26-28 de junio de 2021 se contó con información de 96 voluntarios(as) y de 40 estaciones para un total de 136 puntos de observación, mayoritariamente dentro de la cuenca del río Maipo (ver figura 3), lo que representa una densidad media aproximada de 1 punto de observación por cada 100 km<sup>2</sup>.



**Figura 3: Zona de estudio y cobertura de la red de pluviómetros ciudadanos y estaciones meteorológicas automáticas.** El cuadro rojo indica el subdominio de Santiago donde se investiga la influencia de la orografía en la precipitación.

Se aprecia que la mayoría de las observaciones se encuentran en la ciudad de Santiago. Dentro de la ciudad la mayoría de los voluntarios residen en el sector oriente, aunque también hay por lo menos una observación en casi todas las comunas de la ciudad. Fuera de la ciudad la cobertura es significativamente menor con algunas mediciones dispersas en las provincias de la región.

La figura 4 muestra los resultados de la red para tres eventos de precipitación invernal durante 2021. Para cada uno de ellos se indica el número de puntos de observación con voluntarios(as) y el número de estaciones meteorológicas automáticas para las cuales se contó con información. Estos eventos corresponden a dos situaciones de frentes fríos (20-21 mayo y 18-20 agosto) y un frente quasi-estacionario o río atmosférico zonal (26-28 junio), ambos fenómenos típicos de Chile Central (Fernández & Gironás, 2021) e ilustrados cualitativamente en las imágenes satelitales (figura 4A).

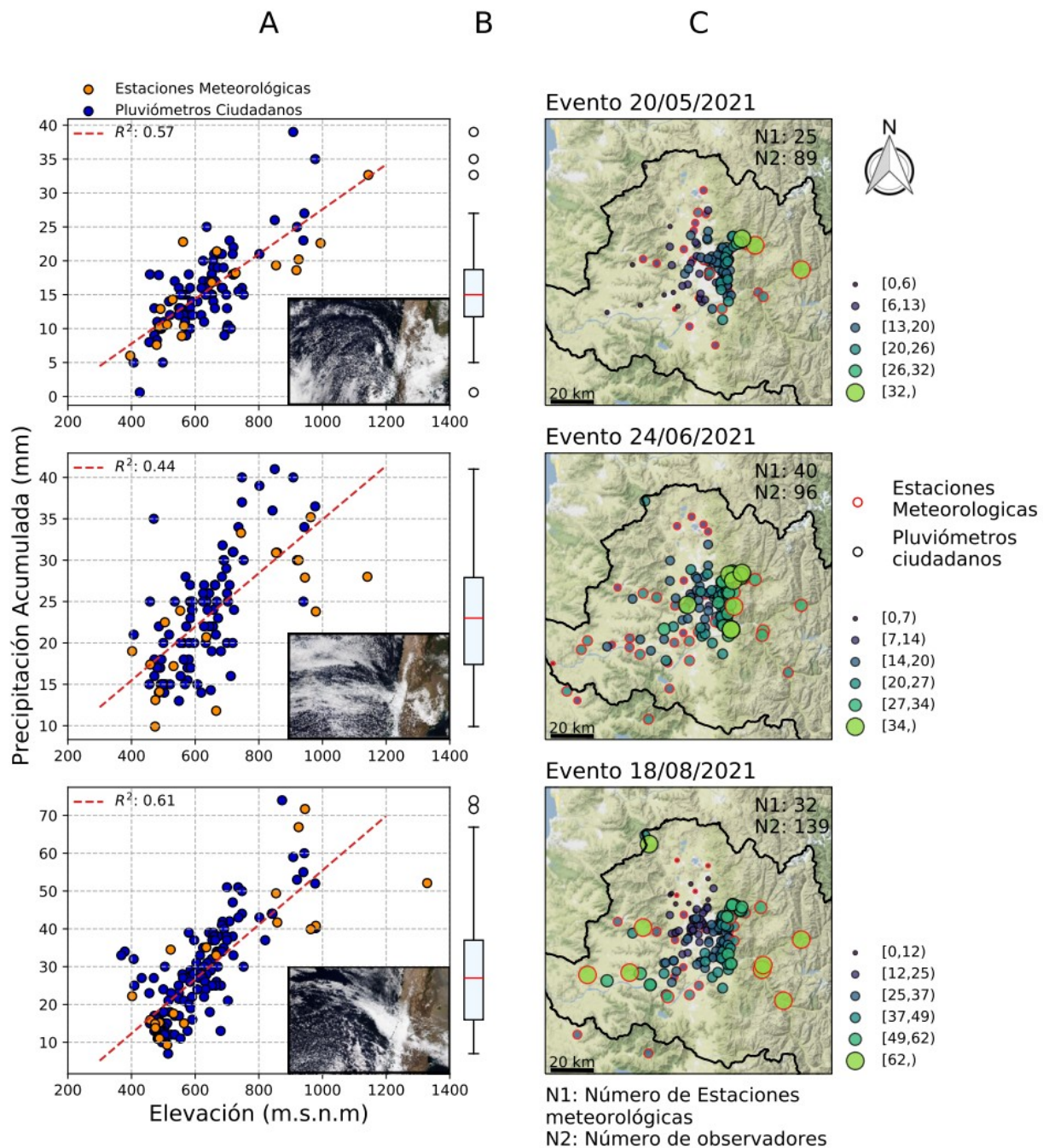
Para cada evento los mapas muestran la precipitación acumulada en un período aproximado de 48 horas (duración de principio a fin del evento). Dentro de Santiago la precipitación en la zona oriente es mayor que en la zona poniente, y según como se indica en las relaciones precipitación/orografía esta tendencia estadísticamente significativa ( $pvalue < 0.05$ ) está explicada aproximadamente en un 50% por el aumento de elevación del terreno producto de la aproximación a la cordillera de los Andes. Los eventos de mayo y agosto muestran un aumento monótono de la precipitación con la altura, mientras que el evento de junio alcanza los máximos montos en la banda de 800 – 1.000 metros para luego disminuir.

Las observaciones realizadas con los PPCC están aproximadamente dentro de los rangos de error y magnitud de las obtenidas de las estaciones meteorológicas automáticas, de manera que con ambos registros se determina que en promedio para la ciudad de Santiago los eventos de mayo, junio y agosto acumularon respectivamente precipitaciones de 15, 23 y 27 milímetros. La distribución de la lluvia es prácticamente simétrica (media ~ mediana) con una dispersión media/alta (aprox. 6, 7 y 12 mm). Los registros indican que las mínimas precipitaciones fueron de 0.6, 13 y 7 mm. La zona que registra estos mínimos tiende a ser el margen poniente de la ciudad, aunque varía en los eventos si es en el sector Norte (Renca, Pudahuel, Colina o Lampa) o más al Sur (Maipú, Cerro Navia, San Miguel, Peñaflor o Talagante). Por otro lado, las máximas registradas fueron respectivamente de 39, 41 y 74 mm, siendo las comunas de Lo Barnechea o de Las Condes las zonas donde se concentran las mayores precipitaciones en todos los eventos analizados, coincidiendo además con ser los sectores de mayores elevaciones sobre el nivel del mar en la red de PPCC.

La participación de los voluntarios y voluntarias, aunque variable, estuvo entre el 80% y 90% de los inscritos en los tres eventos. La figura 5 muestra el diseño de la plataforma Web realizada con el software ArcGis. El acceso a esta plataforma se puede realizar desde el siguiente enlace:

<https://fau-uchile.maps.arcgis.com/apps/dashboards/85bf00c86220446bbff765835b04b5f9>

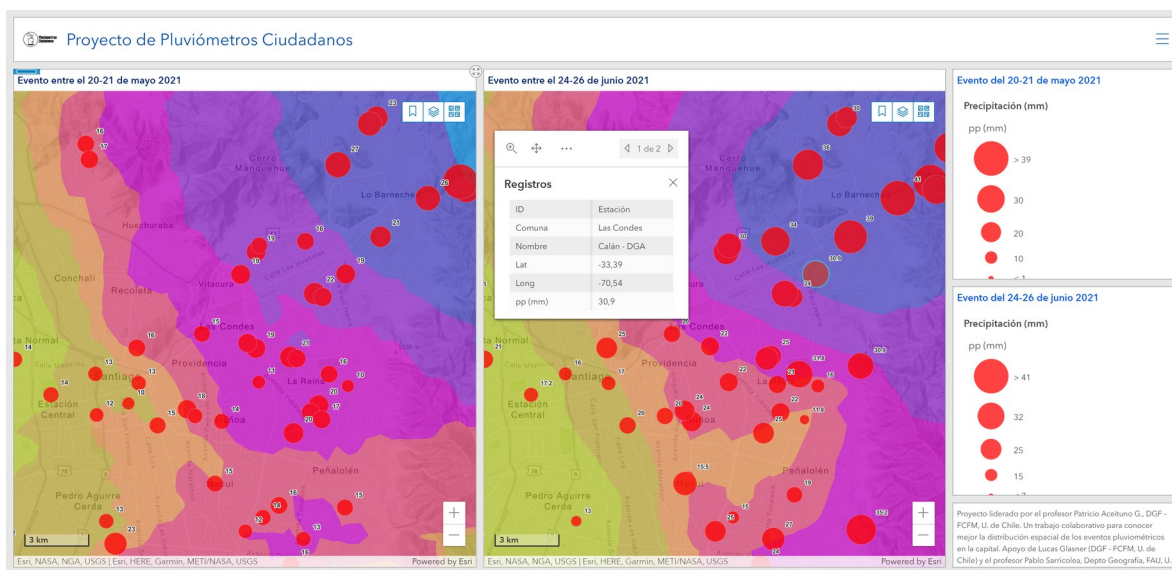




**Figura 4: Observaciones de la red de voluntarios para los tres eventos de precipitación invernal considerados.** (A) Relación de la precipitación acumulada con la elevación del terreno para tres eventos de lluvia en la ciudad de Santiago (ver figura 3). Se incluye imagen satelital MODIS para un día antes del evento. (B) Distribución de la precipitación observada en Santiago. (C) Mapas de precipitación acumulada medida por los(as) voluntarios(as) y registrada en estaciones meteorológicas automáticas. **Nota:** Para mejorar la visualización en los paneles C se utilizó una escala de precipitación diferente para cada evento.



La página con el software ArcGis se distribuye en paneles informativos donde se documentan los resultados de las observaciones de cada evento. En los mapas se observan, junto con su metadata (coordenadas, nombres, comuna, etc), aquellos datos obtenidos por los voluntarios(as) y registrados por las estaciones meteorológicas automáticas. Adicionalmente se ilustra mediante contornos la interpolación de los puntos al dominio que define el valle de Santiago, junto con las superficies de error estándar producto de la técnica de *kriging* (capas interactivamente cambiables en la sección de “layers”).



**Figura 5: Visualización web interactiva mediante ArcGis de los eventos de precipitación registrados por la red de voluntarios(as) y estaciones meteorológicas automáticas.**

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El proyecto tiene dos principales dimensiones, la primera relacionada con las preguntas y conclusiones técnicas que se pueden obtener a partir de las observaciones de la red y la segunda asociada al potencial educativo/formativo que tiene el proyecto con las personas que colaboran voluntariamente.

Con respecto a la dimensión técnica, la precipitación a pesar de ser una variable compleja de modelar tiene la ventaja de que es relativamente sencilla de medir. Esto contribuye a generar confianza en los resultados de las mediciones, especialmente porque en cada uno de los eventos se confirmó que los valores de precipitación obtenidos en la red de voluntarios son consistentes con los registrados por las estaciones meteorológicas automáticas y porque las observaciones muestran una razonable coherencia espacial. Los datos ponen en evidencia una forzante orográfica significativa sobre la precipitación, lo cual es consistente con estudios del patrón general de la precipitación y dinámica atmosférica en la región (Viale & Núñez, 2011).

Una manera rápida de cuantificar el efecto orográfico es comparar la precipitación con la elevación, pero en estricto rigor el incremento/disminución de la lluvia en el terreno ocurre más bien por el movimiento vertical del aire producto de la interacción del viento con las laderas ascendentes/descendentes de los cerros y montañas (Smith & Barstad, 2004). Las mediciones realizadas permiten cualitativamente verificar este comportamiento. Así, por ejemplo, para el evento de junio la precipitación es máxima en torno a los 800 – 1.000 metros coincidiendo con la banda de elevaciones donde las laderas precordilleranas ascienden. Adicionalmente la precipitación medida en estaciones internas en la cordillera registraron montos menores de precipitación, lo cual junto con el flujo del oeste inferible de la imagen satelital hace aún más consistente los resultados. El evento de agosto también es evidencia de este comportamiento. Así, de la imagen satelital se infiere un viento y transporte de humedad del noroeste/norte coincidiendo con altos montos de precipitación en la zona al sur y sur-oeste de la ciudad justamente donde comienza el ascenso del cordón de Cantillana (lugar donde se encuentre el cerro Alto de Cantillana (~2.281m), uno de los más altos de la cordillera de la costa). Por último, los datos obtenidos con los pluviómetros artesanales evidencian notoriamente el efecto de “sombra orográfica” que induce la cordillera de la costa en las comunas de la zona poniente y nor-poniente de la ciudad.

Con respecto a la dimensión educativa se enfatiza la dinámica que ocurre dentro de los grupos de Whatsapp, donde mediante un diálogo horizontal se discute con los participantes sobre temáticas de meteorología e hidrología, las cuáles luego se complementan con los mapas y figuras que los mismos voluntarios hacen posible. Adicionalmente la visualización interactiva de los datos en el sitio web de ArcGis ha favorecido la interacción de los voluntarios con los datos, lo cuál ha sido particularmente útil para que ellos mismos puedan validar sus observaciones en el producto final. Por otro lado, se destaca que la iniciativa ya ha tenido una significativa repercusión en los medios de comunicación nacional a través de reportajes (LUN, 2021; EMOL, 2021) y entrevistas radiales (radio Cooperativa y radio Bio Bio), a lo cual se suma la difusión realizada en los sitios Web de la U. de Chile y de la FCFM. Esto por un lado ha significado un aumento en el número de voluntarios y voluntarias y también ha abierto la posibilidad de expandir la divulgación del proyecto en escuelas y colegios de algunas comunas de la ciudad.

Finalmente, el proyecto sigue vigente a la fecha, dependiendo su continuidad únicamente en el mantenimiento de un grupo significativo de personas dispuestas a colaborar. Se proyecta continuar con el proyecto durante la temporada de lluvia de 2022, mejorando su organización y la difusión de los datos y de los resultados mediante un sitio Web. Se espera también durante el segundo año de ejecución, mejorar la cobertura observacional en sectores norte y sur de la ciudad mediante la incorporación de nuevos voluntarios(as), principalmente estudiantes de colegios. Se estima que mediciones de este tipo para unos 15 a 20 episodios de lluvia con valores acumulados superiores a 10 mm en el centro de la ciudad permitirá caracterizar los patrones típicos de distribución espacial de la precipitación en la cuenca de Santiago, más allá del bien conocido gradiente entre los sectores poniente y oriente de la cuenca. Esto a su vez permitirá disponer de una base de datos con información útil no sólo para proyectos científicos sino también para proyectos de hidrología urbana como aquellos dirigidos a evitar o mitigar los impactos de anegamientos e inundaciones o proyectos de ingeniería como el diseño de estanques de recolección de aguas lluvias para uso doméstico.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los voluntarios y voluntarias que han hecho posible este proyecto, a la periodista Daniela Cid del Departamento de Geofísica de la FCFM, por su gestión para dar a conocer el proyecto a nivel institucional y en los medios de comunicación, a Camila Ventí por el diseño y elaboración del logo del proyecto, a los profesores Francisco Meza, de la P. U. Católica de Chile y Rodrigo Fuster, de la U. de Chile, por su interés por el proyecto y su difusión entre sus estudiantes para el reclutamiento de voluntarios.

## REFERENCIAS

Ali, G., Sajjad, M., Kanwal, S., Xiao, T., Khalid, S., Shoaib, F., & Gul, H. N. (2021). Spatial-temporal characterization of rainfall in Pakistan during the past half-century (1961–2020). *Scientific reports*, 11(1), 1-15.

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, (2018). Informe de resultados Vecinos de las Nieves 2018-2019. Proyecto R16A10003. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

EMOL, (2021). Con pluviómetros artesanales estudian la lluvia que cae en Santiago. El mercurio online – Sección de Innovación. Santiago de Chile 15/07/2021. URL: <https://digital.elmercurio.com/2021/07/15/ME-I/4D4058O2/AP408M02>.

Fernández, B. & Gironás, J. (Eds.). (2021). *Water Resources of Chile* (Vol. 8). Springer.

Kopf, A., Bicak, M., Kottmann, R., Schnetzer, J., Kostadinov, I., Lehmann, K., ... & Ducluzeau, A. L. (2015). The ocean sampling day consortium. *Gigascience*, 4(1), s13742-015.

LUN, (2021). Con botellas plásticas miden cuánta lluvia cae en todo Santiago. Las últimas noticias, Santiago de Chile 16/08/2021.URL: <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2021-08-16&NewsID=475890&BodyID=0&PaginaId=19&SupplementID=0&r=w>

RedMeteo, (2018). Red Meteorológica Abierta en Tiempo Real y Comunidad Atmosférica Nacional. URL: <https://redmeteo.cl/>, Fecha 17/08/2021.

Schnetzer, J., Kopf, A., Bietz, M. J., Buttigieg, P. L., Fernández-Guerra, A., Ristov, A. P., ... & Kottmann, R. (2016). MyOSD 2014: evaluating oceanographic measurements contributed by citizen scientists in support of ocean sampling day. *Journal of microbiology & biology education*, 17(1), 163-171.

Smith, R. B., & Barstad, I. (2004). A linear theory of orographic precipitation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(12), 1377-1391.

Tragin, M., & Vaultot, D. (2018). Green microalgae in marine coastal waters: The Ocean Sampling Day (OSD) dataset. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12.

Viale, M., & Núñez, M. N. (2011). Climatology of winter orographic precipitation over the subtropical central Andes and associated synoptic and regional characteristics. *Journal of Hydrometeorology*, 12(4), 481-507.