

# Pluviómetro de bajo costo para mejorar la resolución espacio-temporal del registro de lluvias en condiciones de campo

Juan Pablo de Rosas<sup>1,2</sup>, Alejandro Morales Preve<sup>1</sup>, Matías Insausti<sup>3</sup>, Patricio Magliano<sup>2</sup>, Javier Houspanoussian<sup>2</sup>, and Raúl Giménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física. Universidad Nacional de San Luis.

<sup>2</sup> Grupo de Estudios Ambientales. IMASL. UNSL - CONICET

<sup>3</sup> Instituto Argentino de Oceanografía. UNS - CONICET

**Resumen** Se presenta el prototipo de un pluviómetro autónomo, de bajo costo, construido con materiales accesibles y basado en hardware y software libre. Su funcionamiento se basa en lecturas periódicas del nivel de agua colectada en un reservorio cilíndrico, mediante un sensor de distancia. Comparamos la precisión de dos sensores de distinto principio de funcionamiento: láser (IR) y ultrasonido (US).

**Keywords:** Sensores ambientales · Hardware libre · Registro Autónomo

## 1. Introducción

La medición de la intensidad, cantidad y distribución espacial de las precipitaciones, es de fundamental importancia para diversas aplicaciones científicas en los campos de la meteorología, el monitoreo climático, la hidrología, la agricultura y otras ciencias ambientales[1]. Aplicaciones como los sistemas de alerta temprana de inundaciones, la detección de sequías, la programación del riego, la gestión de reservorios de agua, la cuantificación de la erosividad de las lluvias o el monitoreo de la calidad del agua, entre otras, requieren de mediciones de lluvia con buena resolución espacio-temporal. Sin embargo, el elevado costo de los pluviómetros automáticos determina que en muchas regiones del mundo su distribución sea insuficiente para cuantificar adecuadamente la lluvia acumulada. En este trabajo, presentamos el diseño de un pluviómetro autónomo y de bajo costo (pluviómetro: USD 20, datalogger: USD10) y comparamos dos prototipos equipados con diferentes sensores.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Diseño del Pluviómetro

El diseño del pluviómetro consta de un reservorio de agua cilíndrico de PVC de radio  $r_{res}$ , en el cual ingresa agua desde un colector de lluvias cónico, de

radio de colección  $R_{col}$ , ubicado encima. En la tapa superior del reservorio se encuentra el sensor que estima la distancia  $d$  desde la tapa a la superficie del agua colectada. En la base del reservorio se halla una manguera, que sube hasta una altura  $h$  y luego baja hasta el nivel del suelo, la cual descarga el reservorio de manera discontinua mediante un sifón. Los sensores utilizados estiman la distancia mediante la medida del *tiempo de vuelo* de una onda emitida contra un blanco. Uno de los prototipos utiliza un láser infrarrojo (prototipo IR), mientras que el otro utiliza ultrasonido (prototipo US), calibrando la velocidad del sonido mediante un termómetro alojado en el reservorio. Ambos sensores fueron seleccionados por su bajo costo y la ausencia de partes móviles. El prototipo IR posee medidas  $r_{res} = 2.25\text{ cm}$ ,  $R_{col} = 12.5\text{ cm}$  y  $h = 100\text{ cm}$ , mientras que el US presenta  $r_{res} = 2.9\text{ cm}$ ,  $R_{col} = 10.7\text{ cm}$  y  $h = 130\text{ cm}$ .

## 2.2. Calibración de los Prototipos

Para calibrar en volumen los prototipos, se agregaron volúmenes conocidos de agua  $V_i\text{ [cm}^3\text{]}$ , medidos con instrumental de laboratorio de error despreciable, tomando 300 mediciones de la distancia  $d_i\text{ [mm]}$  luego de cada agregado de agua. Se ajustó un polinomio de grado 5 a fines de minimizar los residuos, lo que nos da modelos tipo  $f(V) = d$ . A partir de los residuos del modelo, se estimó la incerteza en la distancia  $\Delta d$  de cada prototipo mediante una función  $f^{-1}(d) = V$ , se calculó la incerteza en el volumen estimado  $\Delta V$ , con un intervalo de confianza de 99.7%. Utilizando relaciones de volúmenes estimamos, a partir de  $\Delta V$ , la incerteza en la medida de precipitación,  $\Delta p$ .

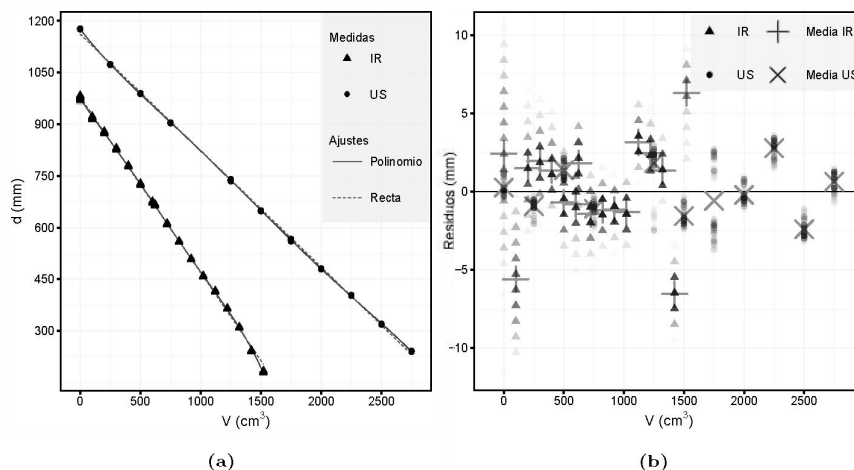
## 2.3. Caudales de Descarga e Intensidades de Lluvia

La descarga discontinua de los prototipos *podría* generar pérdidas de datos si el caudal de descarga del reservorio  $C_{Des}$ , fuera menor o similar al caudal de recarga por lluvias  $C_{Precip}\text{ [mm s}^{-1}\text{]}$ . Para cuantificar la descarga, se llenó a tope el reservorio de los dos prototipos y se cuantificó  $C_{Des}\text{ [mm s}^{-1}\text{]}$ , expresado en  $\text{mm}$  de precipitación por segundo, a partir de mediciones de distancia (muestreo de  $1.5\text{ Hz}$  y  $5\text{ Hz}$ , para UR e IR, respectivamente) durante la descarga. Para estimar  $C_{Precip}$ , se utilizó una serie de 10 años de datos de lluvia horarios de la localidad de El Durazno, San Luis[2] ( $724\text{ mm año}^{-1}$ ). Se seleccionaron los 4 eventos de mayor intensidad de precipitación (con intensidades máximas horarias entre  $38$  y  $55\text{ mm h}^{-1}$ ) y se les aplicó un modelo de decrecimiento exponencial para representar la variación temporal de la intensidad de lluvia a escala sub-horaria en cada evento[3].

## 3. Resultados

### 3.1. Calibración de los Prototipos

La Fig.(1a) muestra las distancias medidas  $d$  vs. los volúmenes de agua ingresados al reservorio  $V$ . Las distancias decrecen con el aumento de volumen de



**Figura 1:** (a) Distancia  $d$  [mm] vs.  $V$  [ $cm^3$ ] en el reservorio para ambos sensores. (b) Residuos del polinomio vs.  $V$  [ $cm^3$ ].

agua  $V$  en el reservorio, con cierta dispersión para cada volumen. La diferencia de pendientes entre los prototipos se debe a los diferentes radios de reservorio  $r_{res}$  utilizados. Los ajustes polinómicos presentan altos coeficientes de determinación ( $R_{IR}^2 = 0.9998$ ,  $R_{US}^2 = 0.9999$ ), siendo su inversa utilizada como función de calibración.

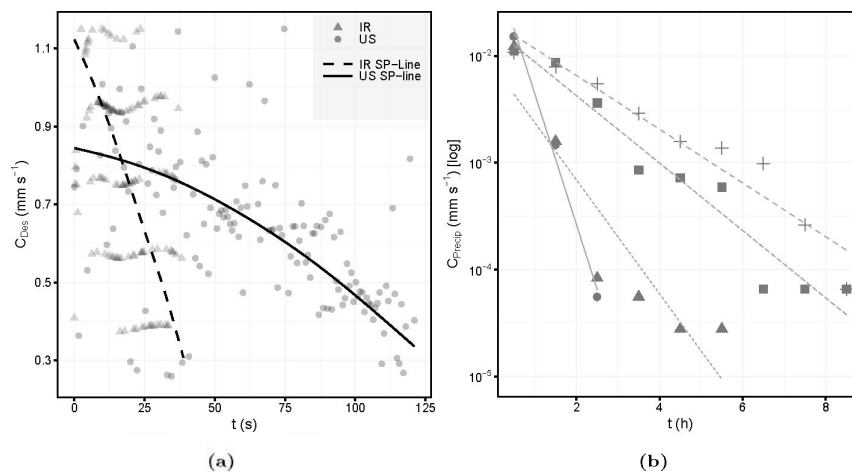
La Fig.(1b) muestra los residuos de los ajustes de los polinomios, junto con la medias para cada  $V_i$ , donde se observa mayor dispersión en IR. Con un intervalo de confianza de 99.7%, la incerteza para todo el rango de  $V$  en la medición de distancia fue  $\Delta d_{IR} = 6.6mm$  y  $\Delta d_{US} = 2.8mm$ . Invirtiendo la función de ajuste y propagando incertezas, la incerteza fue de  $\Delta V_{IR} = 13 cm^3$  y  $\Delta V_{US} = 9 cm^3$  lo que, llevado a lamina de lluvia, indica que ambos prototipos permiten medir incluso eventos pequeños, con una incerteza para todo el rango de medición de  $\Delta p_{IR} = \Delta p_{US} = 0.5 mm$ .

### 3.2. Caudales de Descarga e Intensidades de Lluvia

En la Fig.(2a) se observa el caudal de descarga del reservorio,  $C_{Des}$  ( $mm s^{-1}$ ) vs. el tiempo  $t$  (s), para ambos prototipos, durante un evento de descarga. El tiempo total de descarga fue de 40 s para IR y de 120 s para US. En ambos casos,  $C_{Des}$  fue decreciendo durante la descarga, con rangos entre 1.12 y  $0.3 mm s^{-1}$  para IR, y 0.84 y  $0.33 mm s^{-1}$ , para US y valores medios de de  $0.76 mm s^{-1}$  y  $0.65 mm s^{-1}$ , para IR y US, respectivamente.

En la Fig.(2b) se muestra una gráfica semi logarítmica del caudal de recarga por lluvias  $C_{Precip}$  [ $mm s^{-1}$ ] vs. el tiempo  $t$  (h), para los cuatro eventos extremos de lluvia seleccionados en *El Durazno*. Las líneas representan ajustes lineales, de los cuales es posible calcular los caudales máximos de recarga del reservorio. Los  $C_{Precip}$  máximos estimados variaron entre 0.008 y  $0.072 mm s^{-1}$ , lo cual

4 J.P. de Rosas et al.



**Figura 2:** (a) Caudal de descarga del reservorio  $C_{Des}$  ( $mm\ s^{-1}$ ) en el tiempo  $t$  (s). (b)  $C_{Precip}$  [ $mm\ s^{-1}$ ] vs. la duración del evento de precipitación  $t$  (h).

no contrasta con otras mediciones de intensidad de lluvias en periodos cortos en la República Argentina[4]. Esta diferencia entre  $C_{Des}$  y  $C_{Precip}$  sugiere que, aún en eventos extremos de lluvia, la pérdida de datos durante las descargas es despreciable.

#### 4. Conclusiones

La calibración de los prototipos arroja buenos resultados, siendo *a priori* posible medir eventos de precipitación pequeños, con una incerteza de 0.5mm con cualquiera de los dos sensores. Según el modelo de intensidad de lluvia empleado, las descargas discontinuas no representan grandes problemas de pérdida de datos, ya que los caudales de recarga por lluvias son, aún en eventos extremos, al menos 10 veces más bajos que los caudales de descarga.

#### Referencias

1. Hauptfleisch, R.G: Characterising rainfall using a high density rain gauge network in the Mooi River catchment. PhD diss., North-West Univ (South Africa), 2019.
2. Red de Estaciones Meteorológicas de la Provincia de San Luis, <http://www.clima.sanluis.gov.ar/> Consultado el 10 de Enero del 2020.
3. Brown, L.C., Foster G.R: Storm Erosivity Using Idealized Intensity Distributions. Transactions of the ASAE. **30** (2): 379–0386 (1987). (doi: 10.13031/2013.31957)
4. Catalini, C.G. Predicción de Lluvias Máximas en Argentina Desarrollos y Nuevas Aplicaciones. Tesis Doctoral, UNC (Argentina), 2018.

Agradecimientos: Este trabajo se financió con fondos del PICT 2018-01213