

Lluvias en Córdoba: un estudio preliminar para la resiliencia hídrica

María Lila Asar¹, Elizabet L. Estallo^{2,3}, Francisco F. Ludueña-Almeida^{1,2,3}

1-Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Matemática, Córdoba X5000JJC, Argentina

2-Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba, Córdoba X5016GCA, Argentina

3-Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas- Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba X5016GCA, Argentina

maria.lila.asar@unc.edu.ar

elizabet.estallo@mi.unc.edu.ar

francisco.luduenaa.almeida@unc.edu.ar

RESUMEN

El efecto de isla de calor en la ciudad de Córdoba presenta intensidades que pueden superar los 4 a 6 °C. Este efecto tiene influencia sobre la circulación del aire a nivel tanto local como regional, lo que podría producir lluvias de distinto milimetraje dentro del municipio. Con tal motivo, se llevaron a cabo mediciones de precipitaciones desde octubre de 2023 a marzo de 2024 dentro de la ciudad. Los resultados sugieren que habría una mayor ocurrencia de precipitaciones intensas en el sur de la ciudad. Considerando estos resultados, se podrían planificar a nivel municipal medidas tendientes al almacenamiento y/o desvío hacia zonas de huertas, las cuales rodean la ciudad y forman lo que se conoce como cinturón verde.

Esta aplicación directa favorecería la resiliencia climática en gestión hídrica frente a la temporada de sequía que debe enfrentarse cada año, generalmente entre julio y noviembre, favoreciendo el acceso al agua para riego de los pequeños productores que abastecen a la ciudad.

Este proyecto reúne aportes de ciencia ciudadana y está siendo financiado por National Geographic NGS-67544R-20.

1 - INTRODUCCIÓN

Lugar de estudio:

La ciudad de Córdoba es la segunda ciudad más poblada de Argentina, con 1.565.112 habitantes (INDEC, 2023). La ciudad está emplazada en la provincia de Córdoba (31°24'

S, 64°11' W), y está situada a una altitud que oscila entre los 360 y los 420 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). Se ubica en la llanura pampeana, limitando hacia el oeste con el cordón de las Sierras de Córdoba (Sierras Chicas). El río Suquía cruza la ciudad desde el noroeste, fluye hacia el centro y sale de la ciudad por el este. A lo largo de su curso recibe agua del arroyo La Cañada, que viene del suroeste, dividiendo la ciudad en tres sectores (Figura 2).

El río Suquía presenta dos pequeños embalses cerca de la ciudad de Córdoba: el Diquecito y el Dique Mal Paso. Este último fue construido por los ingenieros Carlos Cassaffousth y Eugenio Dumesnil, e inaugurado en 1891. Su objetivo principal era derivar agua a dos canales de riego: Canal Norte y Canal Sur, los cuales proporcionaban no sólo agua para riego de las quintas productoras de frutas y verduras, sino también agua para consumo humano (Carino, 2020).

Figura 1. Mapa de Argentina, en América del Sur, destacando la provincia de Córdoba. En rosa, se resalta la ubicación de la ciudad de Córdoba.

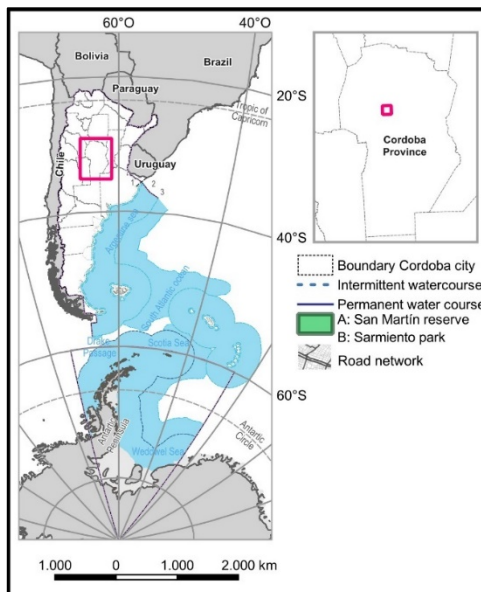
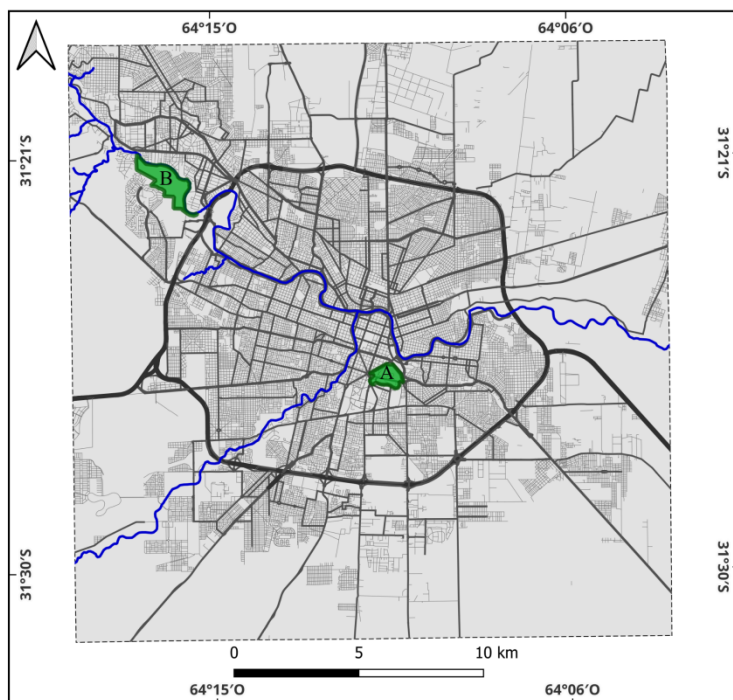
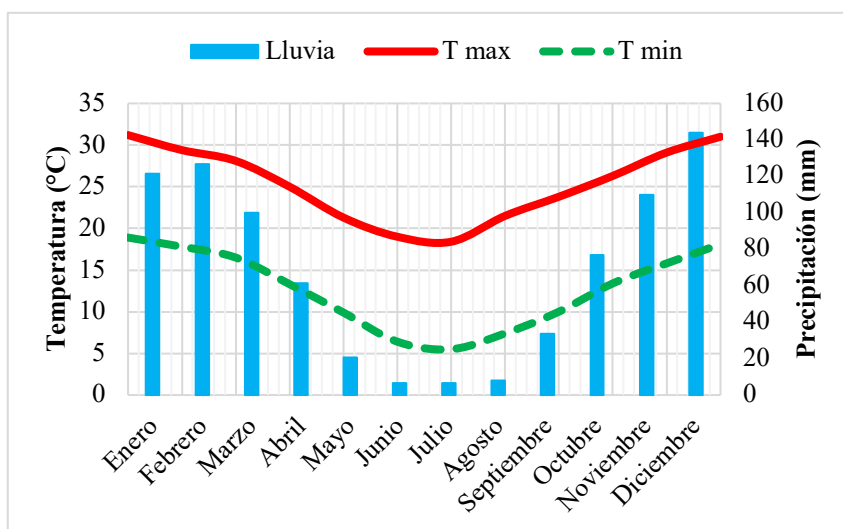


Figura 2. Mapa de la ciudad de Córdoba. La línea punteada gris corresponde a la jurisdicción municipal. La línea gruesa más oscura es el Anillo de circunvalación, mientras que las otras líneas corresponden a avenidas principales. Se destacan los cauces del Río Suquía (desde el NE hacia el E) y del arroyo La Cañada (desde el SE hasta el centro, donde se une con el río). Se destaca la presencia de los dos parques principales de la ciudad: A) Parque Sarmiento, B) Reserva Natural Urbana San Martín.



Su clima corresponde a la clasificación Cwa en el sistema Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), que es un clima templado, con veranos cálidos y lluviosos e inviernos secos. En la Figura 3 se presenta un climograma de la ciudad de Córdoba, confeccionado con datos del Servicio Meteorológico Nacional que corresponden al promedio de los últimos 30 años (1991 al 2020) (SMN, 2024). Se observa que la estación seca se extiende de mayo a septiembre, con la mayor ocurrencia de precipitación entre octubre y abril. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 10,8 °C (mínima) y 24,7 °C (máxima). La precipitación promedio anual es de 815 mm.

Figura 3. Climograma de la ciudad de Córdoba.



En la ciudad de Córdoba, la extensión urbanizada en 1991 era de 21868 ha, aumentando a 26970 ha en 2001, y siendo de 35487 ha en 2014, último dato disponible (Atlas of urban expansion, 2024). El incremento anual en este período fue de alrededor del 2.1%.

Este proceso implica una serie de cambios, ya que urbanizar implica impermeabilizar y crear servicios, lo que transforma esos lugares en áreas de cemento. El paisaje natural se altera drásticamente, reduciendo la superficie disponible para la captación de agua. El cambio en el uso de la tierra trae aparejado consigo el incremento de los desmontes, los incendios, y la contaminación, por mencionar algunos de los muchos aspectos que afectan seriamente la dinámica hídrica de la región y la disponibilidad de agua.

El consumo de agua cordobés es muy alto rozando picos de casi 400 litros por habitante y por día durante la época estival (La nueva mañana diario, 2022), pese a que las fuentes de abastecimiento de la ciudad son limitadas.

Los cinturones verdes en las ciudades consisten en áreas periféricas donde se practica la horticultura para suministrar alimentos frescos a la población urbana. En la ciudad de Córdoba, el cinturón verde abarca terrenos ubicados en la periferia dentro del área urbana. Sin embargo, los procesos de agriculturización y transformación urbana, como la expansión de los cultivos de soja y el crecimiento del mercado inmobiliario en zonas periurbanas, están llevando a una disminución considerable de la superficie de este cinturón y del número de familias dedicadas a esta actividad agrícola.

En Córdoba, el proceso de expansión urbana presentó una reducción considerable de la superficie del Cinturón Verde. En las áreas norte, este y sur de la ciudad de Córdoba se registraron reducciones superiores al 60% en los últimos 20 años (Marinelli et al, 2019). Como un ejemplo: la tradicional zona de quintas al sur de la ciudad, que ha estado disminuyendo debido a la presión inmobiliaria desde la década de 1990 y principios del siglo XXI. La sustitución por el uso residencial urbano se debe a la proximidad de esta zona con el área central de Córdoba, a la que se puede acceder rápidamente mediante vías de circulación rápida. A esto se suma el fraccionamiento del suelo rural por herencia. Este fenómeno persiste hasta que, después de varias generaciones, las unidades productivas se vuelven poco rentables (de dos a tres hectáreas), por lo que finalmente se venden (Frutos et al, 2017).

El agua de riego necesaria para la producción en el Cinturón Verde de Córdoba proviene principalmente de los canales del Sistema de Riego Norte que son alimentados desde el lago San Roque. En el año 2014, el gobierno provincial inauguró cuatro

perforaciones de 300 metros de profundidad, con sus correspondientes electrobombas, además de cuatro cisternas de 75 mil litros y otras dos de 150 mil litros (prensa.cba.gov.ar). Esto ayudaría a asegurar la independencia hídrica de los pequeños productores de la zona noroeste del Cinturón Verde.

El agua para el consumo humano de la ciudad de Córdoba proviene en su mayoría del lago San Roque (70% del total), que también abastece a las poblaciones del departamento Colón a través del acueducto Sierras Chicas. El lago Los Molinos es el responsable de proveer el 30% restante del agua necesaria para la ciudad. En el año 2022 se ha puesto en funcionamiento un nuevo acueducto, que aumenta el caudal disponible de manera considerable (cba24n.com).

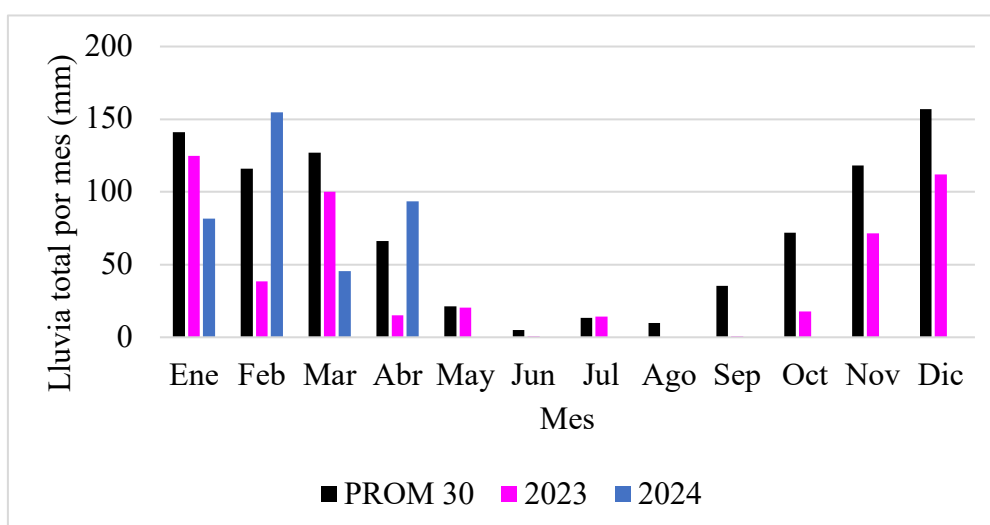
Estos lagos se forman al embalsar ríos de sus respectivas cuencas serranas. Así, durante el verano, las precipitaciones son captadas en la parte media – alta de las cuencas (entre 550 y 2900 msnm). Si las cuencas poseen una buena cobertura vegetal nativa, se forma una suerte de red de contención del suelo y se facilita la absorción e infiltración del agua a niveles inferiores, hasta lograr la saturación de las napas (efecto esponja). El excedente de agua de lluvia va directamente a los ríos y arroyos, que desembocan en los lagos artificiales, uno de cuyos propósitos es atenuar el efecto de las crecidas repentinas de los ríos serranos. A medida que avanza el año, el agua almacenada se va liberando de modo paulatino, permitiendo que los arroyos y ríos cuenten con caudal incluso en invierno (Martina et al, 2020).

El agua proveniente de los embalses San Roque y Los Molinos, es transportada hasta las proximidades de la ciudad, donde ingresa a plantas potabilizadoras, que la tratan para luego suministrarla a la red de distribución domiciliaria.

Las lluvias en la ciudad de Córdoba y alrededores (Gran Córdoba) inician anualmente en el mes de octubre, finalizando en mayo, por lo que el período seco se extiende por un lapso de cinco a seis meses. Esto se ha visto agravado en los años de la fase negativa de la oscilación ENSO (El Niño Southern Oscillation), comúnmente conocida como La Niña. En la Figura 4 puede observarse el total de precipitaciones registradas en cada mes del período 2023-2024 comparado con el promedio de los 30 años comprendidos entre 1991 y 2020. Del año en curso, sólo hay datos oficiales hasta el mes de abril.

Oficialmente, en octubre de 2023 inició un episodio de El Niño, que suele traer lluvias por encima de lo habitual para la región. Sin embargo, puede observarse que en la ciudad los registros muestran un importante déficit, excepto en los meses de febrero y abril de 2024.

Figura 4. Lluvias totales medidas en Córdoba capital entre 2023 y 2024, comparadas con la media histórica. (Datos del SMN)



Desde el año 2020, el equipo de trabajo está analizando el efecto de isla de calor urbana (ICU) en Córdoba desde diversas perspectivas. Mediante imágenes satelitales, Casadei y colaboradores (2021) detectaron un efecto nocturno de alrededor de 4°C de intensidad en el período 2011-2015.

La presencia del efecto ICU en diversas ciudades del mundo (Han et al., 2014; Dou et al., 2024; Yan et al., 2024) se ha relacionado con alteraciones en los patrones de precipitación, siendo estas variaciones muy diferentes y propias de cada ciudad.

Para analizar cuál es el efecto de la ICU de Córdoba sobre las precipitaciones, se decidió incorporar el elemento de la ciencia ciudadana para mapear con mayor precisión la variabilidad de las lluvias en toda la ciudad.

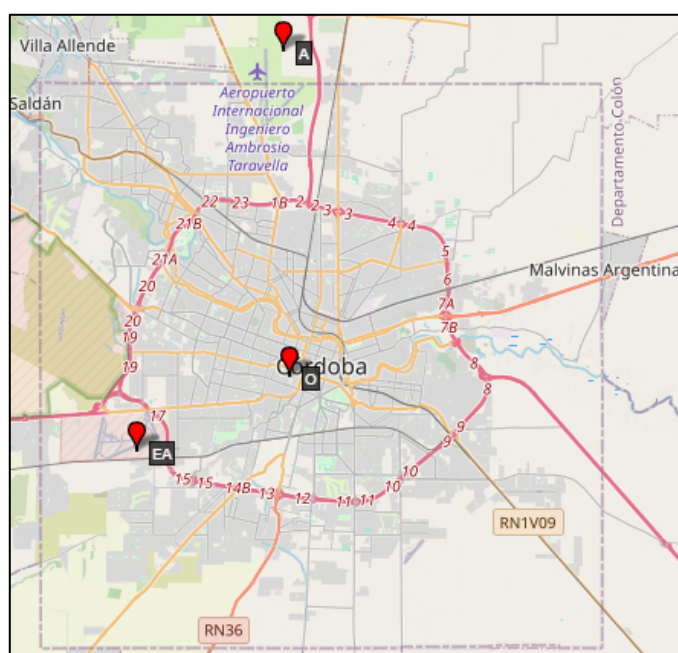
2 – RESULTADOS

Al comenzar con el estudio de mediciones de lluvias, se contaba con los datos oficiales proporcionados por el SMN (que contienen un amplio registro histórico). En la Figura 5 se puede observar la ubicación de estas estaciones. Si bien son puntos bien distribuidos, no son suficientes para estudiar la variabilidad en las precipitaciones, teniendo en cuenta la extensión de la ciudad (576 km²).

Se contactó con los responsables del proyecto MATTEO, que posee una red de pluviómetros repartidos por la ciudad, en manos de voluntarios, quienes amablemente accedieron a compartir sus datos. Puesto que ese proyecto apunta a cubrir principalmente las cuencas de los ríos de la provincia, nuestro equipo se enfocó en trabajar dentro de la ciudad de Córdoba.

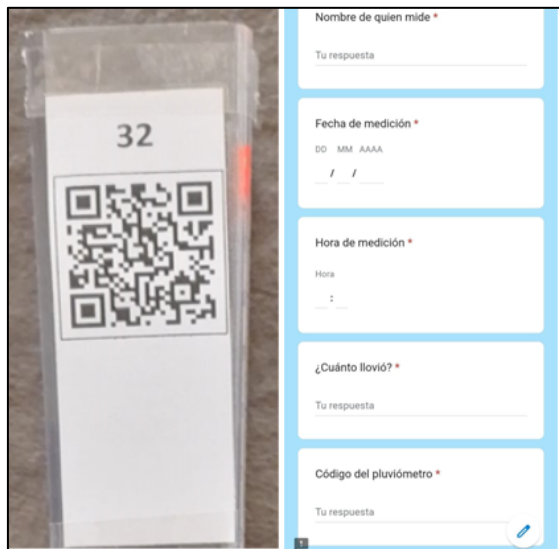
Gracias a un subsidio de NatGeo, adquirimos alrededor de 50 pluviómetros, e iniciamos una página en Instagram con el fin de dar difusión al proyecto. Se dieron charlas en dos escuelas de la ciudad, de las cuales surgieron algunos voluntarios para llevar a cabo las mediciones, y posteriormente se sumaron muchos vecinos interesados en participar, en diversos puntos de la ciudad.

Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional. A: aeropuerto, O: Barrio Observatorio, EA: Escuela de Aviación Militar.



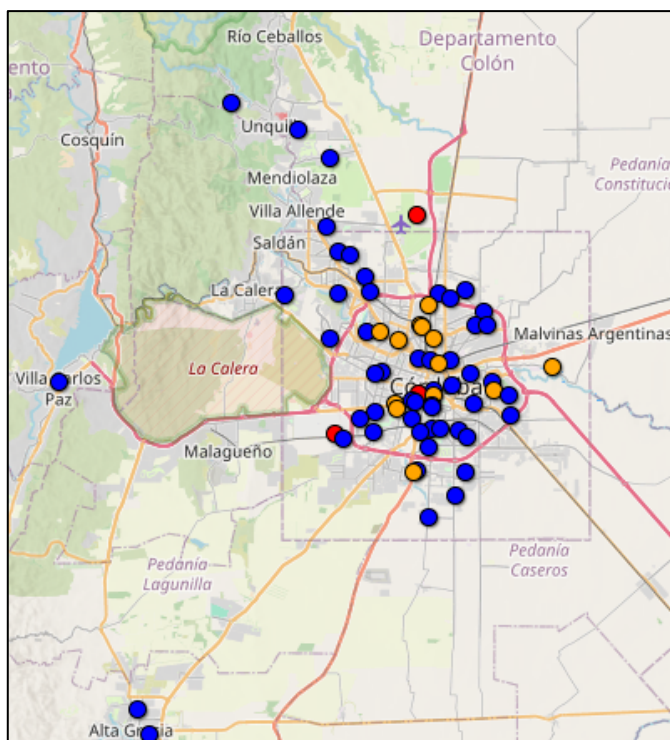
Como un modo de agilizar el análisis de datos, cada pluviómetro cuenta con un código numérico único, que, luego de ser instalado, su ubicación es georeferenciada y guardada en los archivos. Además, se colocó una pegatina con un código QR que remite a un formulario Google (Figura 6), donde el voluntario carga la lectura, la fecha y el número del equipo. Esta metodología ha simplificado la tarea de ubicar los puntos en el mapa de la ciudad y obtener así un pantallazo general de la distribución de las precipitaciones.

Figura 6. Pluviómetros del proyecto Lluvias en Córdoba: código QR, número de identificación y detalle del formulario de respuestas.



Actualmente, contamos con una red bastante amplia (Figura 7, en azul), que sumada a la red de MATTEO (en verde/naranja) y a los datos oficiales (en rojo), dan una mejor visión de la situación en la ciudad.

Figura 7. Ubicación de los pluviómetros del Servicio Meteorológico Nacional (rojo), Proyecto MATTEO (naranja), Lluvias en Córdoba (azul).



Con los datos obtenidos de los diversos episodios de lluvia ocurridos desde noviembre de 2023 a abril de 2024, se llevó a cabo un análisis preliminar. Como primer paso, se descartaron los días con precipitaciones generales menores a 10 mm, ya que la variabilidad en las mediciones es muy alta. Posteriormente, se realizó un promedio para las zonas con pluviómetros ubicados próximos entre sí. Como ejemplo, destacamos las precipitaciones de algunos días en la Figura 8.

Los resultados sugieren una mayor ocurrencia de precipitaciones de alto milimetraje en las zonas periféricas de la ciudad, disminuyendo hacia el centro. Es de destacarse que en esta etapa del estudio no se ha considerado la intensidad de la lluvia, sino solamente el milimetraje total medido por jornada.

Figura 8. Resultados obtenidos en días seleccionados del período de lluvias 2023-2024 en la ciudad. Los valores recuadrados son los promedios obtenidos, en mm.



3 – CONCLUSIONES

Como medidas para paliar el déficit hídrico, se han presentado diversas propuestas, en su mayoría sugiriendo obras para traer agua desde diferentes embalses y ríos (López et al., 2021). En todos los casos, se deben considerar estudios de impacto ambiental y costos asociados.

Debido a la variabilidad propia de las lluvias, así como el exacerbamiento de episodios tanto de sequías como de lluvias torrenciales, se sugieren algunas medidas tendientes a la adaptación al cambio climático. Teniendo en cuenta los resultados preliminares de este estudio, se proponen algunas medidas que pueden implementarse en las zonas periféricas de la ciudad, para aprovechar el excedente de agua de lluvia.

Lagunas de retención o de retardo: son hondonadas que se pueden utilizar para contener la escorrentía pluvial. Esto contribuye a controlar las crecidas en los ríos, las inundaciones en las calles, entre otros. Su implementación es de relativa sencillez, si bien debe tenerse en cuenta que las aguas deben ser vigiladas para evitar la proliferación de mosquitos, en especial las especies *Culex* spp. y *Aedes albifasciatus*, vectores de enfermedades transmisibles al ser humano.

También se sugiere la posibilidad de aconsejar el uso de tanques tipo australiano, donde almacenar agua de lluvia que luego puede ser usada para riego.

El agua de lluvia de la ciudad de Córdoba ha presentado una baja concentración de impurezas, principalmente relacionadas con elementos propios de la corteza terrestre y emisiones vehiculares (López et al, 2015). Por lo tanto, al contar con un recurso natural de tan buena calidad, se podría almacenar incluso a nivel domiciliario para utilizarla en tareas como riego, lavado de veredas, autos, limpieza de inodoros, etc.

4 – AGRADECIMIENTOS

A National Geographic, por su apoyo económico mediante el subsidio NGS-67544R-20.

Al Dr. J.A. Insaurralde, por la confección de los mapas de las figuras 1 y 2.

Al Dr. Carlos M. García Rodríguez, director del proyecto MATTEO, por su colaboración con los datos pluviométricos.

A todos los voluntarios que fielmente reportan sus datos en cada lluvia, sea Navidad o Año Nuevo.

5 – REFERENCIAS

- Atlas of urban expansion <http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Cordoba>
(consultado el 12/06/2024)
- Carino, G. (2020). Aguas de Córdoba. <https://plazacielotierra.org/aguas-de-cordoba/>
(Consultado el 10/06/2024)
- Casadei, P., Semmartin, M., & Garbulsky, M.F. (2021) Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecol Austral* 31(1):190–203.
- Córdoba consume tres veces más agua que lo sugerido por la OMS. La nueva mañana diario, 09/10/2022. <https://lmdiarario.com.ar/contenido/371242/cordoba-consume-tres-veces-mas-de-agua-que-lo-sugerido-por-la-oms> (consultado el 20/06/2024)
- Dou, J., Bornstein, R., Sun, J., & Miao, S. (2024). Impacts of urban heat island intensities on a bifurcating thunderstorm over Beijing. *Urban Climate*, 55, 101955.
- El gobernador inauguró obras de riego en el Cinturón Verde. Noticias del Gobierno de Córdoba, 05/08/2014. <https://prensa.cba.gov.ar/informacion-general/de-la-sota-inaugura-obras-de-riego-en-el-cinturon-verde/> (consultado el 18/06/2024).
- En la próxima década no faltará agua en la ciudad de Córdoba: esta es la obra que lo garantiza. En cba24n.com, 26/06/2022 https://www.cba24n.com.ar/cordoba/en-la-proxima-decada-no-faltara-agua-en-la-ciudad-de-cordoba--esta-es-la-obra-que-lo-garantiza_a62b86b5fe5de212b0b5e3b14 (consultado el 18/06/2024)
- Frutos, N., German, A., Omar, D. H., & Fratini, N. (2017). El crecimiento espacial de la ciudad de Córdoba durante el período 2001–2015. *Locale*, 2(2), 81-100.
- Han, J. Y., Baik, J. J., & Lee, H. (2014). Urban impacts on precipitation. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 50, 17-30.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina) (2023) <https://www.indec.gob.ar/> (consultado el 10/06/2024).
- López, E. E., Pintos, G., Corral, M. A., & Rodríguez, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica del gran Córdoba ante escenarios de sequías y análisis de alternativas para la provisión de agua. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 8, Nro. 1, abril 2021.
- López, M. L., Ceppi, S. A., Asar, M. L., Bürgesser, R. E., & Ávila, E. E. (2015). Rainwater analysis by synchrotron radiation-total reflection X-ray fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 113, 100-105.
- Marinelli, V., Paz Ruggia, O., Céliz, Y., Occhionero, F., & Giobellina, B. (2019) Cartografías de la producción de alimentos de proximidad en el cinturón verde de Córdoba, Argentina. Conference: 4° Congreso Latinoamericano de Estudios Urbanos

URBARED. “Transformaciones metropolitanas en América Latina. La investigación frente a nuevos escenarios”

Martina, E. B., Barri, F. R., & Deon, J. U. (2020). Desarrollo urbano en las Sierras de Córdoba: Consecuencias y resistencias en un territorio hidrosocial en disputa.

Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11:1633–1644.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional) <https://www.smn.gob.ar/> (consultado el 30/03/2024).

Yan, H., Gao, Y., Wilby, R., Yu, D., Wright, N., Yin, J., ... & Guan, M. (2024).

Urbanization further intensifies short-duration rainfall extremes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters*, 51(5).