

# Guía para la Medición de las Precipitaciones



## RESUMEN

La determinación de las cantidades de precipitaciones reales sobre el terreno es una tarea compleja. Las precipitaciones son extremadamente variables, desde el punto de vista temporal y espacial, incluso a través de distancias pequeñas y de pluviómetros de ubicación conjunta. Aunque esto puede deberse en parte a la variabilidad natural, las diferencias en las técnicas de medición de las precipitaciones y los consiguientes errores pueden contribuir a las diferencias observadas. Los pluviómetros convencionales están sujetos a una amplia gama de errores, que a menudo se ven agravados por las condiciones del campo, como los fuertes vientos. Por lo general, requieren configuraciones específicas, además de una limpieza, nivelación y calibración periódicas, y son propensos a cometer errores adicionales si no se cumplen y mantienen estas especificaciones.

Una configuración de medición cambiante, complicada y que requiere mucha mano de obra supone un reto para cualquiera que busque datos precisos para informar sobre las decisiones de riego, y una operación optimizada para llevarlas a cabo. El sencillo dispositivo Mark 2 de Arable, los datos dinámicos y la exclusiva plataforma de aprendizaje automático presentan un enfoque novedoso de la pluviometría con una precisión comprobada frente a los sensores de estándar oro. exploremos el estado actual de la medición de las precipitaciones y veamos cómo

Arable trabaja para mejorarlo.

- Las precipitaciones son complejas, variables y están muy sujetas a cambios sutiles del microclima.
- La mayoría de las afirmaciones sobre la precisión de los pluviómetros se validan en un entorno de laboratorio controlado.
- Las condiciones meteorológicas del campo desempeñan un papel importante en los errores de medición de un pluviómetro.
- La mayoría de los pluviómetros requieren mantenimiento y calibración con regularidad para mantener su precisión.
- La medición de la lluvia con menos piezas móviles y los modelos de aprendizaje automático reducen los errores de manera significativa.

Las precipitaciones son, por lo general, el elemento hidrológico más variable sobre cualquier espacio, y su caracterización es una de las más necesarias y difíciles de rectificar. Las precipitaciones tienen múltiples modos de no estacionariedad: la variabilidad a pequeña escala inducida por procesos como la formación de nubes, la formación de gotas y el viento; y la variabilidad a mayor escala inducida por el movimiento de los frentes de lluvia, la geografía local y regional y, en algunos casos, las copas de los árboles.

La comparación de datos muy localizados, como los que usted recibe

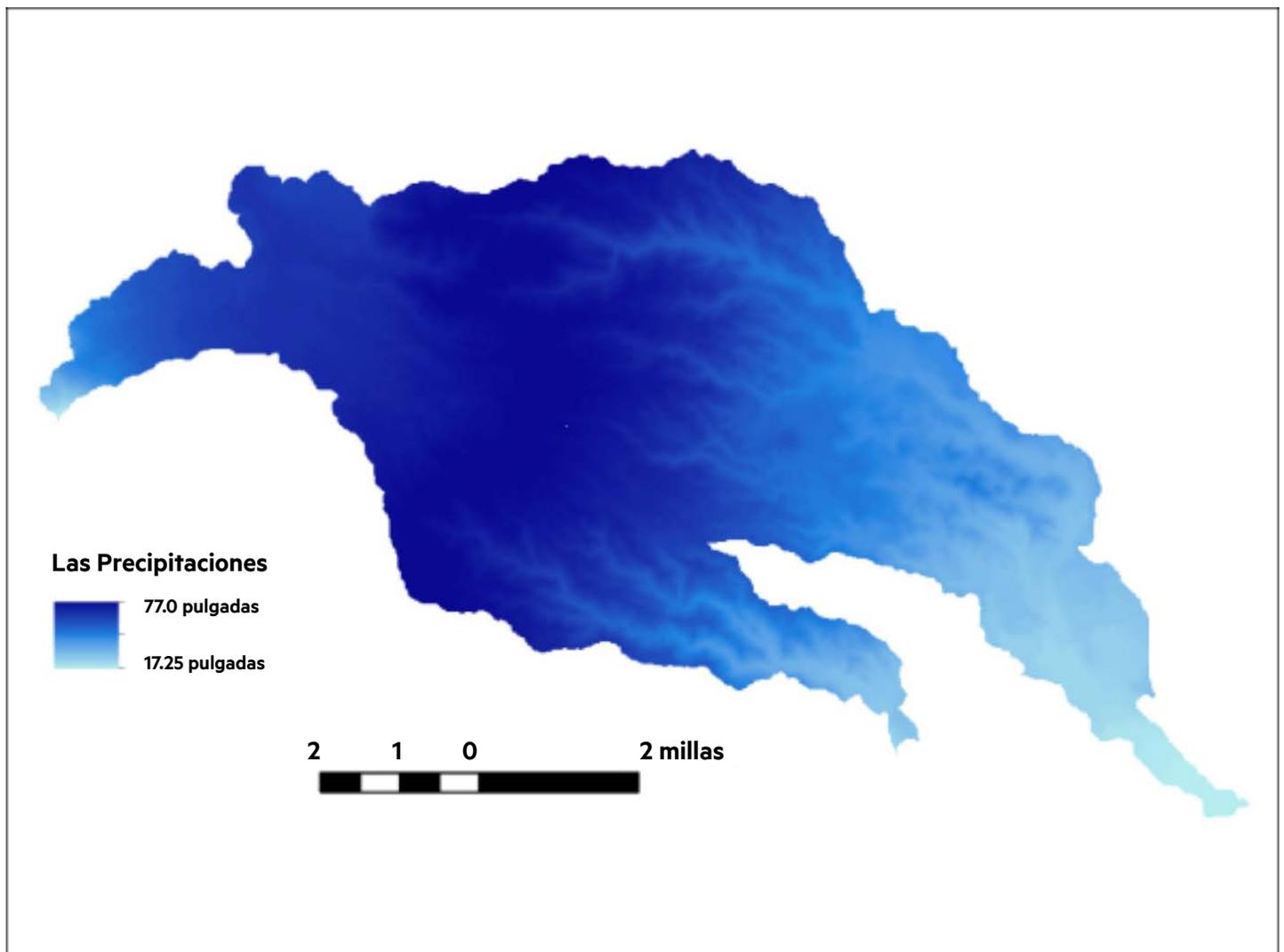
del Arable Mark 2, con un pronóstico o una estación meteorológica lejana puede mostrar parte de esta variabilidad. Los pronósticos suelen tener en cuenta las condiciones probables en una zona amplia; en algunos puntos concretos puede llover mucho más o menos. Lo mismo ocurre con la estación meteorológica más cercana; muchas estaciones meteorológicas de EE. UU. están en aeropuertos con condiciones que pueden ser muy diferentes a las que se ven en sus campos. La variabilidad espacial puede ser notable, como ha demostrado la investigación:

- Hasta un 100% de variabilidad entre pluviómetros situados a menos

de 500 metros de distancia (Jensen y Pedersen 2005)

- Hasta un 26% (o más) de variabilidad entre pluviómetros a menos de 250 metros de distancia (Pedersen et al. 2010)
- La variabilidad está fuertemente influenciada por el tipo de lluvia que se produce (Emmanuel et. al. 2012)

También puede observar cierta variabilidad espacial al comparar las precipitaciones entre sus dispositivos si los tiene en muchos campos. El valor máximo de una red de dispositivos es que obtiene la imagen más real de sus condiciones climáticas.



**Figure 1.** Existe una variabilidad espacial significativa en las precipitaciones incluso a través de distancias pequeñas (Mokondoko et. Al. 2018).

Esto demuestra que es común ver la variabilidad de las precipitaciones entre los pluviómetros que tienen cierta dispersión espacial. Pero, ¿qué pasa con los pluviómetros que están uno al lado del otro (lo que llamamos “ubicación conjunta”)? Se ha comprobado que las mediciones pluviométricas realizadas por pluviómetros idénticos situados a pocos

metros de distancia han experimentado diferencias de hasta el 20% (Curtis & Burnash 1996). Este resultado, un tanto desconcertante, se debe a la variabilidad natural de las precipitaciones.

Un estudio de dos años de duración realizado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en

Italia (E. Vuerich et. al. 2009) probó rigurosamente 25 pluviómetros conocidos y de alta calidad, incluyendo cubetas basculantes y medidores de peso, así como disdrómetros ópticos y de impacto. Se trata de un experimento controlado en el que todos los instrumentos se colocaron a la misma altura en un campo abierto sin obstrucciones.



Figure 2. El sitio de pruebas de campo en Vigna di Valle, Italia (E. Vuerich et. Al. 2009).

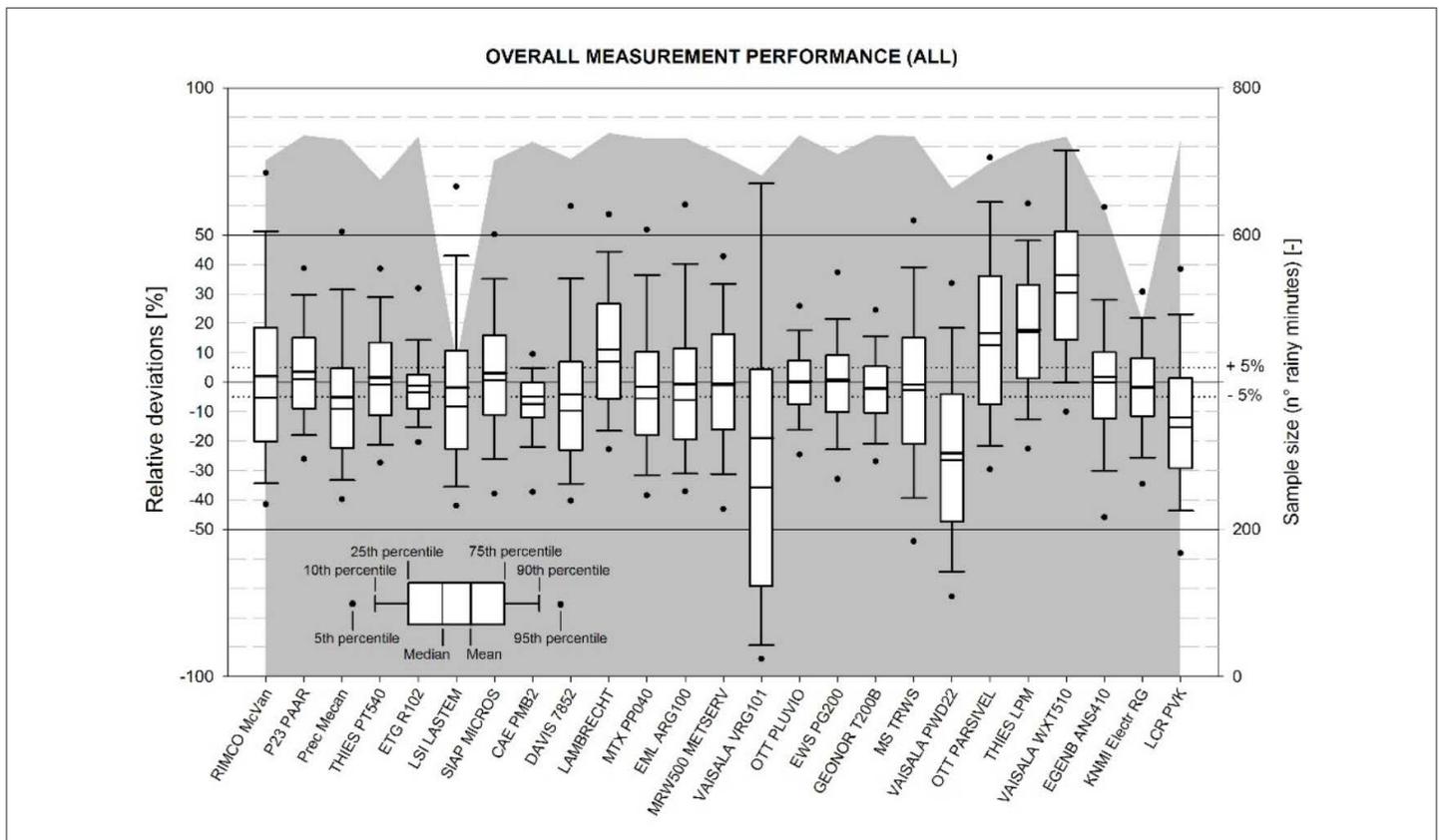
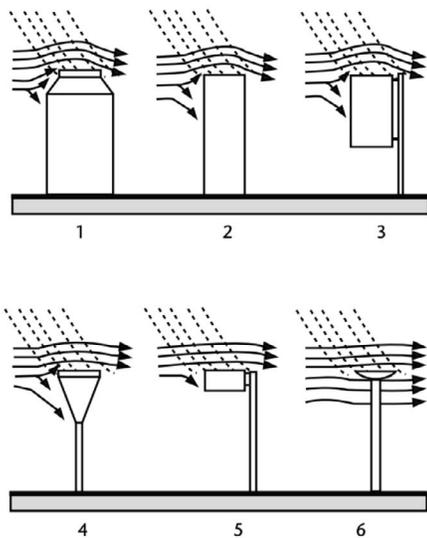


Figure 3. Errores relativos promedio en todo el rango de medición de todos los instrumentos analizados (E. Vuerich et. al. 2009).

El estudio encontró una variabilidad de precipitaciones significativa entre los pluviómetros, y los peores instrumentos presentaban errores promedio que subestimaban en más de un 20% y sobrestimaban en más de un 30% (téngase en cuenta que estos fueron errores promedio; había valores atípicos del 5° y el 95° percentil que subestimaban en más de un 90% y sobrestimaban en más de un 70%). Incluso entre los mejores instrumentos, todavía existía una variabilidad considerable, ya que la mitad de sus mediciones presentaban errores superiores al 5%. Estos resultados son consistentes con otros hallazgos en el sentido de que muestran la variabilidad, incluso entre pluviómetros de ubicación conjunta de la más alta calidad que fueron calibrados y bien mantenidos.



**Figure 4.** Diferentes formas de pluviómetros estándar. Las líneas continuas muestran las líneas de corriente y las líneas discontinuas muestran las trayectorias de las partículas de precipitación. El primer medidor muestra la mayor deformación del campo de viento por encima del orificio del medidor, y el último medidor la menor. En consecuencia, el error inducido por el viento para el primer medidor es mayor que para el último (Organización Meteorológica Mundial 2018).

Esto puede parecer contradictorio con la comprensión general de la precisión de los pluviómetros, ya que la mayoría de las especificaciones de los productos suelen indicar la precisión de las precipitaciones en torno al 5% o menos. Pero estas métricas suelen derivarse de las condiciones de las pruebas de laboratorio y, por tanto, no tienen en cuenta factores importantes como el viento o los distintos tipos e intensidades de lluvia típicos de las condiciones sobre el terreno. Estas condiciones climáticas juegan un papel importante en los errores de precipitación, por lo que las precisiones reales de los pluviómetros suelen ser mucho mayores cuando se implementan en el campo.

La OMM publicó una amplia guía sobre la medición de las variables meteorológicas, incluidas las precipitaciones. Según la OMM, los pluviómetros están sujetos a muchas fuentes de error diferentes, que arrojan cantidades inferiores a la precipitación real que llega al suelo hasta en un 30% o más (Organización Meteorológica Mundial 2018). La magnitud de estos errores depende en gran medida de las condiciones meteorológicas, especialmente de la velocidad del viento y del tipo e intensidad de las precipitaciones, y puede ser causada por:

1. Deformación sistemática del campo de viento por encima del orificio del pluviómetro (2-50%); véase la Figura 4
2. Pérdida de humedad en las paredes internas del colector, así como pérdida de humedad en el contenedor cuando se vacía (1-15%)
3. Evaporación del contenedor (0-

4%)

4. Entrada y salida de agua (1-2%)
5. Errores mecánicos y de muestreo sistemáticos, y errores de efectos dinámicos (5-15%)
6. Error instrumental y observacional aleatorio

La ubicación de los instrumentos y la geografía del lugar son factores importantes que pueden agravar las inconsistencias entre los pluviómetros de ubicación conjunta. Por ejemplo, las diferentes alturas de los medidores o la protección variable en relación con las diferentes direcciones del viento (por ejemplo, la vegetación cercana que bloquea eficazmente el viento desde ciertas direcciones) producen diferentes velocidades del viento. Esto, a su vez, repercutirá en la magnitud de los errores debidos a la aerodinámica alrededor del orificio del medidor, como se muestra en la Figura 4. Este efecto tiene consecuencias dramáticas para la precisión de la medición de la precipitación; un estudio mostró que la captura insuficiente inducida por el viento se encuentra en el orden del 1% por cada milla por hora de viento en el orificio del medidor (Larson y Peck 1974). La documentación de apoyo para los pluviómetros de cubeta basculante comúnmente disponibles recomienda una altura de montaje de 2 pies dentro de un campo de visión despejado (Davis Instruments 2009), mientras que otras fuentes comerciales advierten que “ubicar el pluviómetro a una altura significativa lo expone a los efectos del viento y, por lo tanto, generalmente causará un subregistro significativo de las precipitaciones” e “incluso los objetos residuales en las proximidades

del pluviómetro tendrán potencialmente algún impacto en las precipitaciones registradas ”(Prodata Associates Ltd 2020).

Además de estar sujetos a las fuentes de error enumeradas anteriormente, muchos pluviómetros son sensibles a los errores de nivelación y requieren intervalos regulares de limpieza y calibración. Si no se cumplen las especificaciones recomendadas, esto puede reducir aún más la eficacia del sistema y agravar los errores ya presentes. Por ejemplo, los fabricantes de medidores advierten que “la precisión se degrada significativamente si la unidad no está nivelada” (Davis Instruments 2009) y “la limpieza con la frecuencia necesaria es vital para la precisión” (Prodata Associates Ltd 2020). Además, el sistema puede requerir una recalibración, como lo suelen hacer muchos pluviómetros. A menudo, las calibraciones dinámicas necesarias no se realizan hasta años después de su vencimiento, por lo que se agravan los errores provocados por la suciedad y la desviación de los

mecanismos de vuelco (a menudo inducidos por la expansión del agua). La desviación de la calibración puede llegar al 3-8% durante el primer año en el campo, aunque los sensores varían en su resistencia a la desviación (Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido, 2004).

El cofundador de Arable, Adam Wolf, resumió los pluviómetros convencionales de forma sucinta: “El principal problema de éstos es que se llenan de suciedad, pierden su calibración, pierden agua por poca lluvia (evaporación), por demasiada lluvia (el volquete no puede seguir el ritmo) y por el viento, que expulsa la lluvia debido a la aerodinámica”. Por lo tanto, uno de los objetivos del diseño del Arable Mark 2 era evitar las trampas de las cubetas basculantes y otros pluviómetros: piezas móviles voluminosas; acumulación de escombros; insensibilidad a pequeños eventos de lluvia; sensibilidad al viento; etc.

La solución de Arable para medir la precipitación es un enfoque novedoso

que utiliza un disdrómetro acústico patentado para capturar el sonido de las precipitaciones (Wolf et al. 2018). El disdrómetro efectivamente “escucha” las gotas de lluvia que golpean la cúpula superior. A medida que se recopilan los datos de audio, se analizan para determinar si la fuente del sonido son las precipitaciones y se filtra todo lo demás. Los sonidos de las precipitaciones se transforman en depósitos de energía, que luego se asignan a tamaños individuales de las gotas de lluvia. La acumulación y la caracterización del tamaño de cada gota es lo que finalmente genera un índice de precipitación global y una medida de lluvia acumulada.

Una parte integral de este proceso es la aplicación de modelos de aprendizaje automático (ML), tanto de clasificación como de regresión, que mejoran las estimaciones de lluvia. Estos modelos se construyen y entrenan a partir de los datos recopilados por la red de validación y calibración de Arable (Cal/Val), que incluye 36 (y contando) sitios de campo en todo el mundo y genera

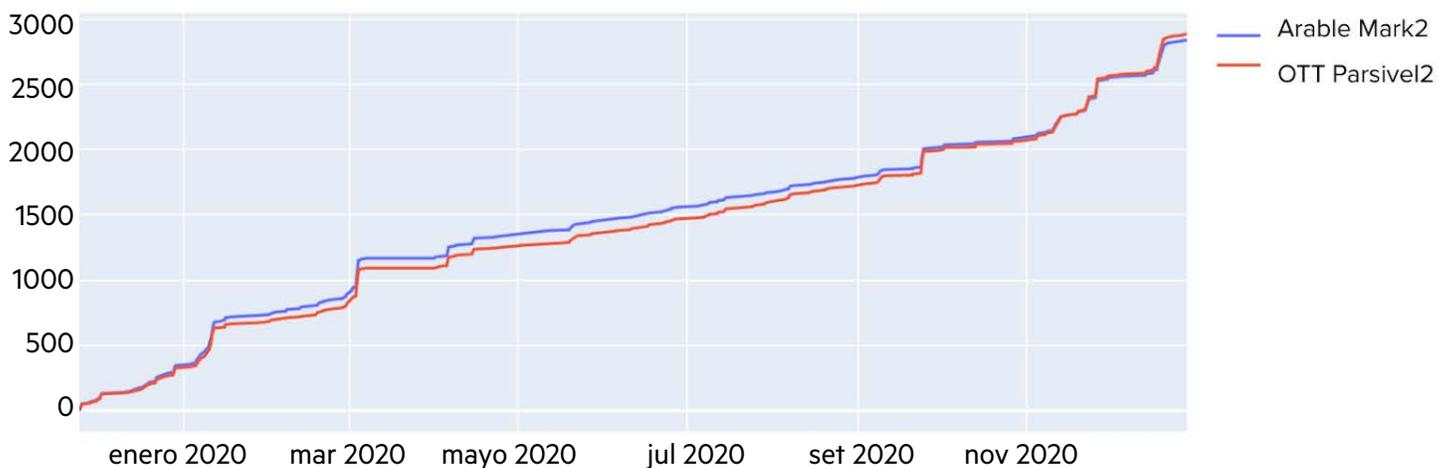


Figure 5. Precipitación acumulada de un Arable Mark 2 y OTT Parsivel2 en uno de nuestros sitios de campo Cal/Val.

millones de puntos de datos cada mes. Estos sitios de campo están equipados con instrumentación de grado de investigación estándar de oro, como el disdrómetro láser OTT Parsivel2 de segunda generación (Nemeth y Beck 2011). No solo utilizamos estos datos para entrenar nuestros modelos, sino también para probar rigurosamente su desempeño en condiciones de campo y zonas climáticas variables. En la Figura 5, a continuación, vemos un año completo de datos en el que se implementa un Mark 2 junto a un OTT Parsivel2. El Mark 2 monitorea de cerca todo el año, con una diferencia porcentual acumulada de solo 1,5%.

Esta estrategia global de calibración y validación ha logrado excelentes resultados, superando a menudo a las estaciones meteorológicas de tipo comercial (véase la hoja de producto del Mark 2 para una lista más completa de mediciones y sus correspondientes índices de precisión). Además, esta

estrategia proporciona una mejora continua de los modelos ML a lo largo del tiempo a medida que se recopilan datos de entrenamiento adicionales a través de la red Cal/Val. Nuestras lanzamientos regulares de software contienen actualizaciones automáticas del modelo ML que aumentan la precisión de nuestras mediciones y maximizan el rendimiento en todas nuestras ofertas de funciones, sin necesidad de sustituir las unidades por un nuevo hardware. Es una forma realmente flexible y sostenible de desarrollar y construir tecnologías, y nos permite hacerlo a un precio más asequible. Nuestras tecnologías seguirán evolucionando y mejorando con el tiempo al aprovechar la plataforma de ML y los datos dinámicos de Arable.

Para obtener los mejores resultados, recomendamos que los clientes que están evaluando los datos de lluvia de Arable comparados con otros medidores consideren la distancia entre los sensores, las diferencias en la

exposición al viento y el tiempo desde que se limpiaron, nivelaron y calibraron los pluviómetros de su propiedad. Incluso entonces, como hemos mostrado, la variabilidad espacial de las precipitaciones en distancias pequeñas e incluso dentro de configuraciones de ubicación conjunta puede ser notable, y es posible que los errores comunes de medición de las precipitaciones nunca se eliminen por completo. Si desea leer más sobre los errores más comunes que pueden producirse al intentar comparar dos fuentes de precipitaciones diferentes y los errores relacionados, consulte este [documento](#) y este [recurso](#).

---

## Referencias

- Curtis, D., & Burnash, R. (1996). Inadvertent Rain Gauge Inconsistencies and Their Effect on Hydrologic Analysis. Presented at the California-Nevada ALERT Users Group Conference, Ventura, CA, May 15-17, 1996.
- Davis Instruments. (2009). "Reporting Quality Observations to NOAA and other weather observation groups." [https://www.davisinstruments.com/product\\_documents/weather/app\\_notes/AN\\_30-reporting-weather-data-to-noaa.pdf](https://www.davisinstruments.com/product_documents/weather/app_notes/AN_30-reporting-weather-data-to-noaa.pdf)
- Emmanuel, I., Andrieu, H., Leblois, E., & Flahaut, B. (2012). Temporal and spatial variability of rainfall at the urban hydrologic scale. *Journal of Hydrology*, 420-431: 162-172.
- E. Vuerich, C. Monesi, L. Lanza, L. Stagi, & E. Lanzinger. (2009). WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges. WMO Library, IOM 99 (TD 1504). <http://www.precipitation-intensity.it/firi.html>
- Jensen, N.E., & Pedersen, L. (2005). Spatial variability of rainfall: Variations within a single radar pixel. *Atmospheric Research*, 77(1-4): 269-277.
- Larson, L., & Peck E. (1974). Accuracy of Precipitation Measurements for Hydrologic Forecasting. *Water Resources Research*, 10(4).
- Mokondoko, P., Manson, R. H., Ricketts, T. H., & Geissert, D. (2018). Spatial analysis of ecosystem service relationships to improve targeting of payments for hydrological services. *PLoS ONE*, 13(2).
- Nemeth, K., & Beck, E. (2011). Here comes the rain: high-precision measurement of hydrometeors. *Meteorology Technology International*, May 2011: 105-107. <https://www.ott.com/download/meteorological-technology-international-article/>
- Pedersen, L., Jensen, N.E., Christensen, L.E., & Madsen, H. (2010). Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges. *Atmospheric Research* 95(4): 441-454.
- Prodata Associates Ltd. (2020). "Rain gauge faults." <https://www.manula.com/manuals/pws/davis-kb/1/en/topic/rain-gauge-faults>
- United Kingdom Environment Agency. (2004). Evaluation of tipping bucket rain gauge performance and data quality. *Science Report: W6-084/SR*. 63pgs.
- Wolf, L. A., Siegfried, B. J., Smith, A. L. (2018). Disdrometer having acoustic transducer and methods thereof. U.S. Patent No. 10578772B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- World Meteorological Organization. (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation: Volume 1 -- Measurement of Meteorological Variables*. WMO-No. 8. 548pgs.





 **ARABLE**