

CONSTRUCCIÓN DE PLUVIOMETROS CON MATERIALES RECICLABLES PARA LA MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL CONSTRUCTION OF PLUVIOMETERS WITH RECYCLABLE MATERIALS FOR THE MENSURATION OF THE PLUVIAL PRECIPITATION

Autores: Oscar Brown Manrique
Glenia Díaz Concepción
Inés Cecilia Codrington Smith

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: obrown@unica.cu

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Consejo Popular del reparto Rivas Fragas, provincia de Ciego de Ávila con el objetivo de construir pluviómetros con la utilización de diferentes materiales reciclables como botellas de polietileno tereftalato y pomos de cristal de fácil adquisición en los hogares y entidades comerciales. La lámina de lluvia caída en cada uno de los pluviómetros, se determinó midiendo el volumen de agua acumulado dentro del pluviómetro mediante una probeta de cristal de 100 ml. La validación de los pluviómetros se realizó mediante el criterio del error relativo promedio comparándose la precipitación medida en los pluviómetros contruidos respecto a la obtenida en el pluviómetro estándar CA-850 ubicado en la zona de estudio. Los resultados demostraron que es posible la utilización práctica de los pluviómetros contruidos; pero la lámina de lluvia calculada no puede utilizarse directamente ya que se producen errores que oscila entre el 23% al 74%; sin embargo, el coeficiente de corrección propuesto compensa totalmente estos errores. Se dedujeron modelos estadísticos que permiten estimar con exactitud el coeficiente de corrección en función de la lámina de lluvia calculada en milímetros.

Palabras clave: Botellas de PET, Calibración, Equipo para medición de precipitaciones.

ABSTRACT

The research was conducted in the Popular Council of the neighborhood Rivas Fragas, province of Ciego de Avila in order to build pluviometers with the use of different recyclable materials such as polyethylene terephthalate bottles and glass jars readily available in homes and commercial entities. The lamina of rain falling in

each of the pluviometers was determined by measuring the volume of water accumulated in the pluviometer using a glass beaker of 100 ml. Validation of the pluviometers was performed using the average relative error criterion comparing precipitation pluviometers built as compared to that obtained in the standard pluviometers CA-102 located in the study area. The results showed that is possible the practical use of pluviometers built; but the calculated lamina of rain cannot be used directly because an error occurs in the range from 23% to 74%; however, the proposed correction coefficient completely compensates for these errors. Statistical models to accurately estimate the coefficient of correction for the lamina of rain calculated in millimeters were deducted.

Keywords: Bottles of PET, Calibration, Equip for mensuration of precipitations.

INTRODUCCIÓN

El pluviómetro es un instrumento que se emplea para la recolección y medición de la precipitación en un lugar geográfico específico. La cantidad de agua que cae se expresa en milímetros de altura (Ramos, 2013). Las primeras mediciones de la precipitación fueron realizadas por los griegos 500 años a.c. Cien años más tarde en La India, se utilizaron recipientes para recoger y medir la precipitación. El primer pluviómetro automatizado fue inventado en Inglaterra en 1662 por Christopher Wron empleando un cubo inclinado que al llenarse caía haciendo un hueco en un papel (Aguamarket, 2013); sin embargo, la precipitación comenzó a ser medida en sentido científico en el siglo XIX en Europa (Royal Meteorological Society, 2013).

La medición de la precipitación tiene por objeto obtener toda la información posible sobre la cantidad de lluvia que cae en un período de tiempo determinado; lo que permite conocer la distribución de las precipitaciones en el tiempo y el espacio (Estación Meteorológica de Ojáiz-Peñacastillo, 2013). El conocimiento de esta variable meteorológica resulta importante para entender el régimen pluviométrico de una determinada zona, ya que éste revela aspectos importantes de la climatología agrícola; pues la precipitación determina los rendimientos de los cultivos (Monasterio et al., 2008).

En el mundo moderno se hace imprescindible la cuantificación de la cantidad de lluvia caída en un tiempo determinado, la cual debe ser puesta de forma inmediata en conocimiento de la ciudadanía (Ditemasdivul, 2013).

Es posible encontrar diversos tipos de pluviómetros como los convencionales de cazoletas y totalizadores para uso en condiciones extremas, los cuales se pueden adquirir con facilidad en los mercados acorde con las características de la superficie de captación, la sensibilidad y precisión (Campbell Scientific, 2013); no obstante, en algunos países la situación económica no permite contar con estos instrumentos en la cantidad requerida para determinar la magnitud de las precipitaciones en un área determinada. Para resolver esta situación numerosos países como México, Brasil, Chile y Venezuela han realizado investigaciones sobre la utilidad de pluviómetros artesanales contruidos con materiales reciclables, pudiéndose demostrar su utilidad para la medición de la lluvia. En este sentido IRENEU (2013) expresa que es posible facilitar el trabajo con estos pluviómetros artesanales mediante el desarrollo de hojas de cálculo y tablas de conversión de las cantidades recogidas a litros por metro cuadrado referida a la misma área de captación.

A partir de lo anteriormente expuesto el objetivo del trabajo consiste en construir diferentes tipos de pluviómetros artesanales con la utilización de materiales reciclables como botellas de polietileno terestolato (PET) y pomos de cristal que permita la medición de la precipitación en la localidad de Modesto Reyes en la provincia de Ciego de Ávila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Consejo Popular del reparto Rivas Fragas del municipio Ciego de Ávila, que posee una población de 13182 habitantes y un total de 4448 viviendas. Este se encuentra situado en el pasaje F, entre Onelio Hernández y Martí al sur de la ciudad de Ciego de Ávila (figura 1).



Figura 1. Vista satelital del Reparto Rivas Fraga.

Se realizó una investigación bibliográfica para el estudio de las distintas fuentes de información que permitieron fundamentar teórico y metodológicamente los aspectos relacionados con la construcción y utilización de los pluviómetros confeccionados con materiales reciclables. Se revisaron los antecedentes y se determinó la evolución de la medición de las precipitaciones en el de cursar del tiempo.

Se aplicaron diferentes métodos empíricos como: la observación para medir la cantidad de lluvia caída en cada evento a partir de los equipos pluviométricos construidos; la técnica fotográfica sugerida por Valle (2014) para registrar de forma visual y sistemática el proceso de construcción de los pluviómetros. Las imágenes fotográficas se tomaron con la cámara digital Cybershot de 10.1 mega pixels las cuales fueron mejoradas con el programa Photoshop para lograr la mayor nitidez posible; métodos analíticos para el cálculo matemático de la lámina de lluvia en cada medición y métodos estadísticos para establecer comparaciones entre los diferentes pluviómetros construidos y entre estos con los registros del equipo estandarizado CA- 850 (figuras 2).



Figura 2. Pluviómetro CA-850 ubicado en el Reparto Aeropuerto.

Se utilizaron diferentes materiales locales de fácil adquisición, los cuales se disponen generalmente como desechos en los hogares y entidades comerciales donde se vende bebidas y alimentos ligeros como Botellas de polietileno terestolato (PET) y pomos de cristal (tablas 1 y 2). En las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 se muestran imágenes fotográficas de las diferentes botellas de PET y pomos de cristal empleados en la investigación.

Tabla 1. Botellas de PET utilizadas en la investigación.

| Tipo de material | Marca comercial | Capacidad (ml) | Diámetro (mm) |
|------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Botellas de PET | Refresco dely | 330 | 59 |
| Botellas de PET | Refresco tuKola | 1500 | 87 |
| Botellas de PET | Refresco Tinajito | 1500 | 100 |

Tabla 2. Pomos de cristal utilizados en la investigación.

| Tipo de material | Marca comercial | Peso neto (g) |
|--|-----------------|---------------|
| Pomo de cristal para pasta de bocadito | Findy | 500 |
| Pomo de cristal para aceitunas | ALDAKETA | 1900 |



Figura 3. Botella de PET de la marca tuKola.



Figura 4. Botellas de PET de la marca Tinajito y dely.



Figura 5. Pomos de cristal de las marcas ALDAKETA y Findy.

El proceso de construcción de los pluviómetros consistió en los pasos siguientes:

- Localización de instrumentos apropiados para la construcción del pluviómetro.
- Marcaje de la botella con un marcador en la parte superior.
- Seccionado de la parte superior de la botella obteniendo dos partes: embudo y cilindro para el almacenamiento de agua.
- Colocación de contrapeso en la base del pluviómetro para lograr estabilización.
- Conformación definitiva del pluviómetro.

La lluvia caída en cada uno de los pluviómetros, se determinó midiendo mediante una probeta de cristal de 100 ml, el volumen de agua acumulado en su interior, teniendo en cuenta el diámetro del embudo. Las ecuaciones empleadas son las siguientes:

$$P(mm) = \frac{V_{obs}}{1000.A_p}$$

(1)

$$A_p = \frac{\pi.d_{emb}^2}{4}$$

(2)

Donde P (mm) es la precipitación calculada en el pluviómetro construido (mm); V_{obs} el volumen de agua captado en el pluviómetro construido (ml); A_p el área del pluviómetro según el diámetro del embudo de captación (m^2); d_{emb} el diámetro de la boca del embudo de captación (m).

Según Agrología (2013) un milimetro representa la relación entre un litro respecto a un area de un metro cuadrado; lo cual es equivalente a un centimetro cuadrado. La demostración matemática de este valor es como sigue:

$$\frac{1L}{m^2} = 1 mm = \frac{1000 ml}{10000 cm^2} = 0.10 ml = 1 cm^2$$

(3)

La validacion de los publiometros se realizó mediante el criterio del error absoluto promedio que se calcula como:

$$EAP = \frac{1}{N} \left| \sum P_{const} - \sum P_{cert} \right|$$

(4)

Donde EAP es el error absoluto promedio (%); P_{cont} la precipitación medida en el pluviómetro de estudio (mm); P_{cert} la precipitación medida en el pluviómetro certificado o estandar (mm); N la cantidad de lecturas realizadas.

En cada evento de lluvia se midió el volumen de lluvia caído directamente sobre el embudo y acumulado en el interior del equipo. En este proceso fue muy importante lograr la máxima precisión en la medición del volumen y del tiempo de inicio y terminación, lo que permitió calcular la intensidad de las precipitaciones con las ecuaciones siguientes:

$$I = \frac{P_{const}}{T}$$

(5)

$$T = T_f - T_i$$

(6)

Donde I es la intensidad de las precipitaciones (mm/h); P_{const} la precipitación medida en el pluviómetro de estudio (mm); T el tiempo de duración de la lluvia (h); T_i el tiempo de inicio de la lluvia (h); T_f el tiempo de terminación de la lluvia (h).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de construcción empleado en la investigación para la obtención de pluviómetros a partir de botellas de PET puede resumirse en los pasos siguientes:

- Localización de instrumentos y materiales para la construcción del pluviómetro: botellas de PET, marcador para pizarra, tijera y cemento Pórtland (figura 6).
- Marcado de la botella con un marcador en la parte superior por donde se va a cortar.
- Seccionado de la parte superior de la botella, conformando un embudo para la captación de la lluvia. Esta parte representa aproximadamente un tercio de todo el alto de la botella (figura 7).
- Utilización del fondo de la botella como la parte destinada para el almacenamiento del agua captada a través del embudo. El fondo de la botella se rellena con cemento Pórtland, formando una superficie horizontal que le confiere

peso al instrumento. Esto resulta necesario para su estabilidad contra las fuertes lluvias y vientos durante el proceso de medición (figura 8).

- Ensamblado de las partes de las botellas cortadas para formar el pluviómetro. El embudo obtenido se coloca de forma invertida dentro del cilindro que contiene la base de cemento, quedando conformado el equipo para su utilización (figura 9).



Figura 6. Instrumentos y materiales utilizados.

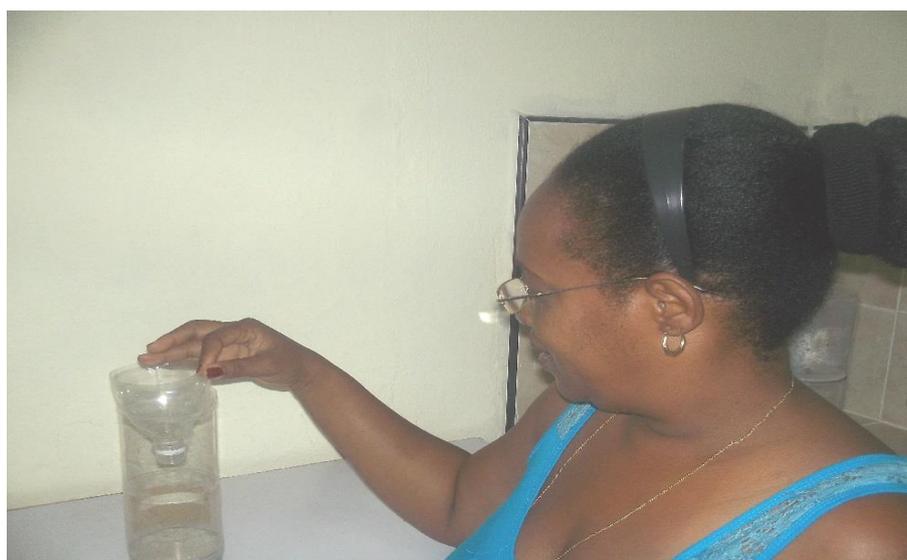


Figura 7. Colocación a presión del embudo.



Figura 8. Relleno del fondo de la botella con cemento.



Figura 9. Pluviómetros contruidos con botella de PET.

Para la construcción del pluviómetro con pomo de aceituna y pasta de bocadito se sugiere seguir los pasos siguientes:

- Utilización de un pomo de aceituna como reservorio del volumen de agua captado durante el evento de lluvia.
- Construcción de un embudo a partir de la parte superior de una botella PET debiéndose primeramente marcar y luego cortar de forma tal que se ajuste adecuadamente al área de la abertura del pomo de aceitunas.
- Colocación del embudo obtenido dentro del pomo de aceitunas de forma invertida, quedando conformado el equipo para su utilización.

En la figura 10 se observa la manera en que fueron colocados los diferentes pluviómetros contruidos para la determinación del volumen de lluvia captado durante cada evento de precipitación. Puede observarse que los equipos están situados directamente sobre una superficie relativamente llana, sin obstáculos, con la

máxima verticalidad y una correcta conexión entre el embudo y la base colectora.



Figura 10. Pluviómetros colocados en el campo listos para la medición.

En la tabla 3 se presenta los volúmenes de agua expresados en mililitros captados en los cuatro equipos pluviométricos construidos. Se demuestra que el volumen de agua que puede ser captado, depende directamente del diámetro del embudo. En ese sentido el volumen captado por los pluviómetros construidos con PET ($V_{PET8.7cm}$, $V_{PET9.8cm}$) y pomo de cristal con diámetros de 9,8 y 10,0 cm ($V_{pomo10cm}$, $V_{pomo5.9cm}$) respectivamente acumularon la mayor cantidad lluvia. El pomo de cristal con embudo de 5,9 cm fue el que captó menor volumen de lluvia.

Tabla 3. Volumen captado en los pluviómetros (ml).

| Fecha | $V_{PET8.7cm}$ | $V_{PET9.8cm}$ | $V_{pomo10cm}$ | $V_{pomo5.9cm}$ |
|----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 29/03/15 | 450 | 515 | 660 | 255 |
| 23/04/15 | 91 | 99 | 128 | 56 |
| 01/04/15 | 48 | 60 | 73 | 28 |
| 02/05/15 | 66 | 91 | 114 | 40 |
| 04/05/15 | 23 | 32 | 36 | 14 |
| 05/05/15 | 105 | 130 | 145 | 50 |
| 06/05/15 | 40 | 51 | 62 | 20 |
| 12/05/15 | 92 | 140 | 182 | 55 |
| 13/05/15 | 548 | 609 | 783 | 281 |
| 14/05/15 | 0 | 24 | 25 | 0 |
| Σ | 1463 | 1751 | 2208 | 799 |

En la tabla 4 se exponen las láminas de precipitaciones en mm calculadas en cada uno de los pluviómetros construidos; las cuales al igual que en la tabla anterior están

vinculados al diámetro del embudo recolector. Los resultados demuestran que las laminas totales obtenidas en cada pluviómetro y su comparación respecto a la lamina total medida en el pluviómetro certificado indican que el pluviómetro de PET con diámetro de embudo de 8,7 cm fue el más exacto al obtener 230,74 mm respecto a los 226,65 mm captados en el pluviómetro certificado.

Este comportamiento es consecuente con el error absoluto promedio que fue de 0,45 mm; lo que demuestra la precisión de este pluviómetro alternativo. El pluviómetro de PET con diámetro de embudo de 9,8 cm manifestó también una aceptable precisión al lograr un error absoluto promedio de 1,44 mm a lo largo de todo el periodo de medición, lo que indica que puede ser aplicado en la medición de la lluvia desde el punto de vista práctico.

En esta investigación se comprobó que láminas de precipitaciones inferiores a 3,18 mm no pueden ser medidas en los pluviómetros de PET con diámetro de embudo de 8,7 cm y pluviómetro de cristal con diámetro de embudo de 5,9 cm, debido a que no es posible captar ese volumen de lluvia en el interior de estos pluviómetros.

Tabla 4. Lámina de precipitaciones calculadas en los pluviómetros (mm).

| Fecha | P _{PET8.7} | P _{PET9.8} | P _{pomo10} | P _{pomo5.9} | P _{cert (CA-850)} |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| 29/03/15 | 75,74 | 68,31 | 84,08 | 93,32 | 75,63 |
| 23/04/15 | 15,32 | 13,13 | 16,31 | 20,49 | 15,12 |
| 01/04/15 | 8,08 | 7,96 | 9,30 | 10,25 | 8,50 |
| 02/05/15 | 11,11 | 12,07 | 14,52 | 14,64 | 10,10 |
| 04/05/15 | 3,87 | 4,24 | 4,59 | 5,12 | 3,40 |
| 05/05/15 | 17,67 | 17,24 | 18,47 | 18,30 | 17,20 |
| 06/05/15 | 6,73 | 6,76 | 7,90 | 7,32 | 6,40 |
| 13/05/15 | 92,23 | 80,78 | 99,75 | 102,83 | 90,30 |
| 14/05/15 | 0,00 | 3,18 | 3,18 | 0,00 | 0,00 |
| Σ (mm) | 230,74 | 213,68 | 258,09 | 272,27 | 226,65 |
| EAP (mm) | 0,45 | 1,44 | 3,49 | 5,07 | 0,00 |

En la figura 11 se muestra el nomograma para la transformación directa del volumen de lluvia medido en mililitros en los pluviómetros contruidos mediante una probeta graduada en lámina de precipitaciones en milímetros. El mismo constituye un instrumento útil que debe ser utilizado junto al equipo pluviométrico para la obtención de la lámina de lluvia inmediatamente después de la medición del volumen

acumulado.

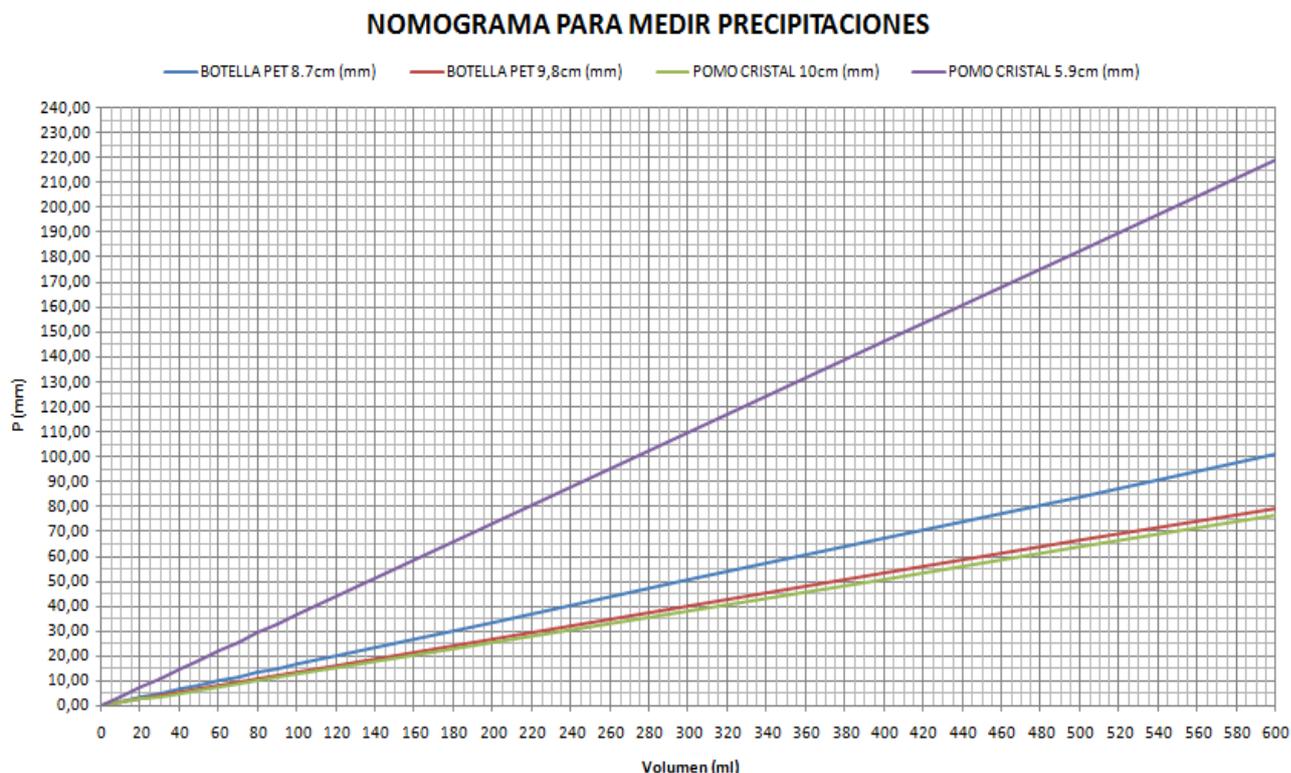


Figura 11. Nomograma para calcular directamente la lámina de precipitaciones.

En la tabla 5 se presentan los resultados de la intensidad de las precipitaciones calculadas durante el periodo de mediciones de las precipitaciones. La intensidad más elevada se produjo el 13 de mayo con un valor de 88,68 mm/h, debido a la ocurrencia de una lámina de lluvia de 92,23 mm durante una hora. También se destaca las intensidades de los días 29 de marzo y primero de abril con valores de 18,93 y 19,23 mm/h respectivamente; la primera de ellas provocada por una lluvia de 75,74 mm en cuatro horas y la segunda por una lluvia 8,08 mm en 25 minutos.

La intensidad más baja fue de 0,41 mm/h, la cual se produjo el día cuatro de mayo a partir de una precipitación de 3,87 mm en un tiempo de 9,42 horas; también fue baja la intensidad de 2,14 mm/h ocurrida el cinco de mayo producto de una lamina de 17,67 mm en 8,27 horas.

Tabla 5. Intensidad de las precipitaciones (mm/h).

| Fecha | P (mm) | Tiempo inicio (h) | Tiempo final (h) | T (h) | I (mm/h) |
|----------|--------|-------------------|------------------|-------|----------|
| 29/03/15 | 75,74 | 3,17 | 7,17 | 4,00 | 18,93 |
| 23/04/15 | 7,91 | 4,32 | 5,38 | 1,06 | 7,46 |
| 23/04/15 | 7,41 | 6,20 | 7,00 | 0,80 | 9,26 |
| 01/04/15 | 8,08 | 11,33 | 11,75 | 0,42 | 19,23 |

| | | | | | |
|----------|-------|------|-------|------|-------|
| 02/05/15 | 3,28 | 7,00 | 7,33 | 0,33 | 9,95 |
| 02/05/15 | 2,19 | 9,33 | 10,00 | 0,67 | 3,27 |
| 02/05/15 | 5,72 | 1,17 | 4,17 | 3,00 | 1,91 |
| 04/05/15 | 3,87 | 7,33 | 16,75 | 9,42 | 0,41 |
| 05/05/15 | 17,67 | 6,23 | 14,50 | 8,27 | 2,14 |
| 06/05/15 | 6,73 | 4,83 | 7,15 | 2,32 | 2,90 |
| 12/05/15 | 15,48 | 2,33 | 5,17 | 2,84 | 5,45 |
| 13/05/15 | 92,23 | 4,13 | 5,17 | 1,04 | 88,68 |

Los resultados expuestos anteriormente demuestran que la utilización de estos equipos alternativos no sólo son útiles para la obtención de láminas de precipitaciones en lugares donde no existan pluviómetros certificados ubicados en la cercana del lugar; sino que también es posible determinar la intensidad de las precipitaciones si es de interés para el usuario, solo con la medición de los tiempos de inicio y terminación de la lluvia.

CONCLUSIONES

- La investigación bibliográfica demostró que en diferentes países de Latinoamérica como Chile, Brasil, Paraguay, Uruguay y Venezuela se aplica la alternativa de la construcción de pluviómetros con botellas de polietileno tereftalato (PET) y pomos de cristal para la determinación de la lluvia caída en una localidad determinada.
- Se comprobó que los pluviómetros contruidos con materiales reciclables de PET y cristal pueden ser aplicados de forma práctica para la captación del volumen de lluvia equivalente en correspondencia con el diámetro de la abertura de los embudos colectores.
- La lámina de precipitación calculada a partir de los equipos pluviométricos no puede utilizarse de forma directa, debe obtenerse primeramente el volumen en mililitros y luego se transforma en lámina, según el diámetro del embudo de captación mediante ecuaciones matemáticas o con el nomograma propuesto en la investigación.
- El pluviómetro de PET con diámetro en el embudo de captación de 8,57 cm fue el más preciso en la medición de la lámina de precipitación con un error absoluto promedio de 0,45 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrología (2013). Pluviómetros San Isidro. Lea con atención como saber si su pluviómetro mide correctamente. Disponible en: www.meteorologia.com. Visitado el 9 de abril del 2013.
- Aguamarket (2013). Productos y servicios para la Industria del agua en Latinoamérica. Disponible en: <http://www.explora.cl>. Visitado el 3 de marzo del 2013.
- CAMPBELL SCIENTIFIC (2013). Pluviometría. Disponible en: <http://www.campbellsci.co.uk/>. Visitado el 19 de marzo del 2013.
- DITEMASDIVUL (2013). El Pluviómetro y el urbanismo. Disponible en: <http://pluviometro.com>. Visitado el 20 de marzo del 2013.
- ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE OJÁIZ-PEÑACASTILLO (2013). Observación y medida de las Precipitaciones. Disponible en: <http://foro.tiempo.com>. Visitado el 5 de abril del 2013.
- IRENEU (2013). Cómo hacer un pluviómetro casero. Disponible en: <http://ireneu.blogspot.com>. Visitado el 9 de abril del 2013.
- MONASTERIO, P. ...[et al.] (2008). El pluviómetro artesanal: una manera práctica de medir la precipitación. *Investigación y transferencia de tecnología agropecuaria*. INIA Divulga 11, Venezuela, pp.4.
- ORTIZ, N. R. y DÍAZ, F. J. (2008). Validación de soluciones obtenidas para el problema del despacho hidrotérmico de mínimo costo empleando la programación lineal binaria mixta. *Dyna*, Año 75, Nro. 156, Medellín, Colombia, pp.43-54.
- RAMOS, M. (2013). Elaboración e instalación de un pluviómetro. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Elaboracion-e-Instalacion-De-Pluviometro>. Visitado el 3 de marzo del 2013.
- ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY (2013). Una historia de pluviómetros. Parte I (de las primeras medidas a las modernas). Disponible en: <http://www.tiempo.com/ram/10782/una-historia-de-pluvimetros>. Visitado el 20 de marzo del 2013.
- VALLE, F. del (2014). El análisis documental de la fotografía. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/multidoc/prof/>. Visitado el 20 de junio del 2014.