

Caracterización de precipitaciones diarias en el municipio de Ciego de Ávila, Cuba

Oscar Brown Manrique e-mail: obrown@unica.cu.
Profesor Titular, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Univ. Ciego de Ávila (Unica), Cuba.

Reinier Díaz Ruiz e-mail: reinier@unica.cu.
Instructor, Departamento de Ingeniería Hidráulica. Univ. Ciego de Ávila (Unica), Cuba.

Yurisbel Gallardo Ballat e-mail: yurisbel@unica.cu.
Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Hidráulica. Univ. Ciego de Ávila (Unica), Cuba.

Jorge Valero Freyre e-mail: jvalero@eah.cav.cu.
Especialista principal, Empresa de Aprovechamientos Hidráulicos (EAH). Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN

La investigación analizó una serie de 30 años de precipitaciones diarias del municipio Ciego de Ávila en el periodo 1983-2012. Se consideraron 43 800 datos correspondientes a los pluviómetros CA-87; CA-102; CA-722 y CA-894. Los resultados demostraron que la pluviometría anual es de 1243,5 mm y los mayores valores se presentan en junio y septiembre con 228,9 mm y 221,3 mm respectivamente. El tipo de lluvia predominante es la inferior a 50 mm en 24 horas las cuales suceden en 86 días en el año. Los meses muy húmedos van de mayo a octubre, los normales de enero a abril y noviembre. Diciembre es el único mes con categoría de muy seco. El valor promedio del coeficiente de concentración de la precipitación diaria es de 0,64 (alto).

Palabras clave: coeficiente de concentración de la lluvia, coeficiente de persistencia, número de días con lluvias, persistencia de la lluvia, rachas lluviosas.

Characterization of daily rainfall in the city of Ciego de Avila, Cuba

ABSTRACT

The research analyzed a series of 30 years of daily rainfall in Ciego de Avila municipality for the period 1983-2012. A number of 43800 data for the rain gauges CA-87; CA-102; CA-722 and CA-894 were considered. The results showed that the annual rainfall is 1243,5 mm and the highest values occur in June and September with 228,9 mm and 221,3 mm respectively. The predominant type of rain is the one less than 50 mm in 24 hours which occur in 86 days of the year. The wet months are from May to October, the normal from January to April and November. December is the only month with a very dry category. The average value of concentration ratio of daily precipitation is 0,64 (high).

Keywords: rain concentration ratio, persistence coefficient, number of days with rain, rain persistence, rainy streak.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la peligrosidad de las precipitaciones es de suma importancia para el análisis de los procesos hidrológicos y los relacionados con la erosión, las pérdidas de suelo y el riesgo para la población a partir de que la reducción de los días de lluvia generalmente están asociados con eventos de alta intensidad que aportan un alto porcentaje de la precipitación total anual, lo que supone una mayor frecuencia de sequías, inundaciones y en general un mayor impacto sobre los recursos hídricos (Máyer y Marzol 2014).

Se prevé que en escenarios futuros las precipitaciones totales anuales descendan y que las lluvias extremas aumenten de manera significativa; lo que implicaría un aumento de la irregularidad pluviométrica y de la escasez hídrica (Marzol et al. 2006), por lo que el estudio de la estructura de la lluvia a escala diaria constituye una necesidad. Sin embargo, hasta ahora los esfuerzos han estado orientados casi exclusivamente a establecer medias mensuales y anuales, dejando fuera la información diaria (Sarricolea et al. 2013).

El promedio mensual de lluvia suministra información valiosa sobre la pluviometría de un territorio, pero no dice nada acerca de la frecuencia o número de días de lluvia, ni del desglose de la cantidad registrada en los días lluviosos. Todos los parámetros estadísticos que expresan la variabilidad de las precipitaciones como la varianza, el coeficiente de variación, la desviación estándar y más recientemente, el índice de irregularidad temporal se aplican casi siempre sobre montos mensuales o anuales y raramente a nivel diario (Sarricolea et al. 2013).

La información de lluvias diaria posee una gran potencialidad para caracterizar las precipitaciones, pues este evento es de carácter discreto y se ajusta perfectamente a distribuciones exponenciales negativas, debido a que existen muchos días con precipitaciones inferiores a 1 mm y pocos días que presentan precipitaciones altas (Martín-Vide 2004).

Basado en el coeficiente de Gini, y la función exponencial negativa que describen las lluvias diarias, Javier Martín-Vide formuló desde el año 1984 el coeficiente de concentración (C_I) para el estudio de la variabilidad de las precipitaciones diarias, el cual constituye un estimador del grado de torrencialidad pluviométrica y explica los riesgos de inundación y sequía (Martín-Vide 2004). Sus resultados han sido ampliados a toda la Península Ibérica y en otras partes del mundo como Irán, China, Chile y Perú. Este coeficiente de concentración como índice se ha analizado en clases con amplitud de 1 mm y recientemente en clases de 5 y 10 mm; pero los ajustes se lograron al usar clases de 1 mm (Zubieta y Saavedra 2009); (Benhamrouche y Martín-Vide 2012).

Teniendo en cuenta la importancia del tema estudiado el objetivo del trabajo consiste en caracterizar la distribución de la lluvia diaria considerando las rachas lluviosas, la persistencia y el coeficiente de concentración en el municipio de Ciego de Ávila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el municipio Ciego de Ávila, situado en el centro de la llanura calcárea de Júcaro a Morón o llanura de la Trocha. Limita al Norte y Este con el municipio Ciro Redondo, al Sur y Este con los municipios Venezuela y Baraguá y al Oeste con el municipio de Majagua (figura 1). La posición geográfica es: 210,50 latitud Norte y 780,40 de longitud Oeste. Su extensión superficial es de 444,6 km² con un relieve fundamentalmente llano y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 27 metros. Desde el punto de vista hidrológico presenta pequeños ríos y arroyos, muchos de los cuales son intermitentes; por lo que es evidente

la pobreza en cuanto a las aguas superficiales, siendo necesario el uso de las aguas subterráneas como fuente de abasto.



Figura 1. Localización del municipio Ciego de Ávila

Análisis de la serie de datos

La investigación analizó una serie de precipitaciones diarias en el periodo comprendido de 1983 al 2012, formada por 30 años de observaciones sistemáticas en las estaciones pluviométricas CA-87; CA-102; CA-722 y CA-894, pudiéndose contar con un total de 43 800 datos distribuidos dentro del municipio (figura 2). La homogeneidad de la serie de precipitaciones se comprobó mediante la prueba de hipótesis a través del test T de Student para varianzas de dos submuestras según sugerencias de González et al. (2007). Se formuló la hipótesis de nulidad (H_0) y la alternativa (H_1) de modo que si el estadígrafo T de Student calculado (T) es mayor que su valor crítico (T_c) o la probabilidad (P) es menor que el nivel de significación (α) para un 5 %, se toma la decisión de rechazar H_0 y aceptar H_1 ; demostrándose que las submuestras comparadas difieren estadísticamente.



Figura 2. Ubicación de los pluviómetros en el área de estudio

Análisis descriptivo de las precipitaciones

Se aplicó la técnica de estadística descriptiva para analizar los estadígrafos fundamentales de las serie de lluvias como media aritmética (X_m), mediana, desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (C_v). También se calculó el índice de irregularidad temporal de las precipitaciones según Sarricolea et al. (2013) teniendo en cuenta la secuencia de la serie de datos a partir de la ecuación (1) siguiente.

$$S_I = \left(\frac{I}{N-1} \right) \sum \left\{ \text{abs} \left[\text{Ln} \left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right) \right] \right\} 100 \quad (1)$$

donde: S_I : índice de irregularidad temporal de la lluvia (adimensional); P_i : precipitación en el instante i (mm); P_{i+1} : precipitación en el instante $i+1$ (mm); N : número de datos de la serie.

Clasificación de las precipitaciones diarias según el rango de agrupación

En la clasificación de las lluvias se empleó el criterio del Consejo Nacional de Aguas de la República Mexicana (CONAGUA) que clasifica las precipitaciones diarias en seis niveles como se muestra en la tabla 1 (Escalante y Amores 2013). Los resultados asociados con cada rango se representaron en un gráfico de barras que relaciona la magnitud de la precipitación total ocurrida en el día con el tipo de lluvia.

Tabla 1. Clasificación de las precipitaciones diarias

| Clasificación | Rango (mm) |
|---|------------|
| Lluvia nula (LL _N) | 0 |
| Lluvias Ligeras (LL _L) | 0 - 5 |
| Lluvias Moderadas (LL _M) | 5 - 20 |
| Lluvias Fuertes (LL _F) | 20 - 70 |
| Lluvias Intensas (LL _I) | 70 - 150 |
| Lluvias Torrenciales (LL _T) | > 150 |

Distribución de las precipitaciones según su magnitud en 24 horas

La distribución se realizó considerándose tres intervalos con láminas de precipitaciones diarias caídas en 24 horas según el siguiente rango: menor de 50 mm; entre 50-100 mm y mayor de 100 mm obteniéndose valores de intensidades expresados en mm/d (Marzol et al. 2006).

Caracterización de los meses según la probabilidad de la precipitación

La caracterización de los meses según los niveles de precipitación se realizó considerándose cinco clases descriptivas (tabla 2) según el criterio de Elías y Castellví (1996) basado en la probabilidad de la lluvia (P_r) calculada mediante el programa informático HidroEsta 2 (Villón 2012) el cual determinó la función de distribución de probabilidad teórica de mejor ajuste.

Determinación de la persistencia de las precipitaciones

La persistencia de la precipitación se determinó contabilizándose la ocurrencia del número de días con precipitaciones sucesivas precedidos y seguidos por días sin precipitaciones (precipitación nula). Se tuvo en cuenta que los días con precipitación son los que presentan una lámina superior a 0,10 mm y también aquellos días sin precipitaciones precedidos y seguidos por días con precipitación; aunque no hayan alcanzado el valor de 0,10 mm debido a que en este caso la precipitación se considera persistente (Martín-Vide 2004). El proceso de cálculo consistió en: determinar el número de rachas lluviosas; calcular la longitud de las rachas lluviosas; calcular la probabilidad de los días con precipitaciones; calcular la probabilidad de que un día llueva habiendo llovido el anterior y calcular el índice de persistencia de los días con precipitaciones.

Tabla 2. Caracterización de los meses según la probabilidad de precipitación

| Clase | Probabilidad de la lluvia, P_r (%) |
|-----------------|--------------------------------------|
| Muy húmedo (MH) | > 90 |
| Húmedo (H) | 75 - 90 |
| Normal (N) | 25 - 75 |
| Seco (S) | 10 - 25 |
| Muy seco (MS) | < 10 |

Las rachas lluviosas se determinaron mediante la ecuación presentada por Azorín (2005), el cual define la racha lluviosa como el período de tiempo constituido por los días consecutivos de precipitaciones. Se empleó la ecuación (2) siguiente:

$$L_{Rm} = \frac{ND_{LL}}{N_R} \quad (2)$$

donde: L_{Rm} : longitud media de las rachas lluviosas (días); ND_{LL} : número de días con precipitaciones (días); N_R el número de rachas lluviosas en el período de estudio considerado.

La persistencia de la lluvia se determinó mediante el índice de persistencia de Besson (R_B) que es el más utilizado y se basa en que se ha comprobado que la cantidad de precipitaciones de un mes determinado está influenciado débilmente por la del mes anterior; es decir, la probabilidad de que llueva un día habiendo llovido el día precedente es más elevada que habiendo sido tal día seco. Los valores de R_B se estimaron acorde con Martín-Vide (2004) y Azorín (2005) mediante las siguientes ecuaciones (3), (4) y (5):

$$R_B = \frac{p' - p}{1 - p'} \quad (3)$$

$$p = \frac{ND_{LL}}{N} \quad (4)$$

$$p' = \frac{ND'_{LL}}{N} \quad (5)$$

donde: R_B : índice de persistencia de Besson (adimensional); p : probabilidad de los días con precipitaciones; p' : probabilidad de que un día llueva habiendo llovido el anterior; ND_{LL} : número de días con precipitaciones; ND'_{LL} : número de días con precipitaciones habiendo llovido el día anterior; N : número total de datos en la serie de distribución.

Determinación del coeficiente de concentración de las precipitaciones diarias

La determinación del coeficiente de concentración se realizó según el procedimiento siguiente propuesto por Martín-Vide (2004): agrupar las precipitaciones diarias en clases con resolución de 1 mm, determinar las marcas de clase de cada intervalo, obtener el número de días con precipitaciones en cada clase (N_{LLi}), calcular la magnitud de las precipitaciones para cada clase (P_i); calcular la sumatoria de las precipitaciones de cada clase (ΣP_i) y de la cantidad de precipitaciones en cada clase (Σn_i), así como los porcentajes de la suma de la cantidad de precipitaciones en cada clase respecto al total ΣN_{LLi} (%) que es la abscisa de la curva exponencial (x) y de la suma de las precipitaciones de cada clase respecto al total ΣP_i (%) que es la ordenada de la curva (y) que se representa en la figura 3; construir la curva a partir de los valores x , y encontrados anteriormente que se ajustaron al modelo matemático más apropiado. La precipitación diaria de cada clase se estimó de la siguiente forma, ecuación (6):

$$P_i = P_M \cdot n_i \quad (6)$$

donde: P_i : precipitación diaria en cada clase (mm); P_M : punto medio de cada clase (mm); n_i : cantidad de precipitaciones comprendidas en cada clase.

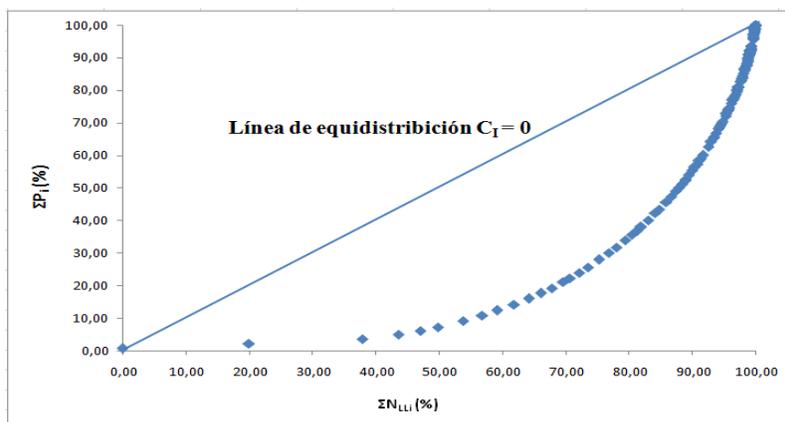


Figura 3. Curva de ajuste

El área bajo la curva se calculó a partir de la resolución numérica de la integral definida entre los límites 0 y 100 con la ayuda de la regla de Simpson expresada mediante la siguiente ecuación (7):

$$A' = \int_0^{100} f(x)dx \approx \frac{h}{3} [(y_0 + y_n) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2})] \quad (7)$$

donde: A' : área bajo la curva; y_i : ordenadas de la función exponencial, h : paso de la función que se estima por la diferencia entre los valores de dos abscisas consecutivas.

El área intermedia por sobre la curva y bajo la recta de equidistribución (S') se determinó mediante la diferencia entre el área del triángulo bajo la recta de equidistribución (5 000 unidades de área) menos el área bajo la curva a través de la siguiente ecuación (8):

$$S' = 5000 - A' \quad (8)$$

El coeficiente de concentración se calculó mediante la relación del área definida por la curva del ajuste y la diagonal del cuadrado de lado 100 ó 10 000 unidades de área respecto a las 5 000 unidades de área explicada anteriormente. La ecuación (9) utilizada fue la siguiente:

$$C_I = \frac{S'}{5000} \quad (9)$$

donde: C_I : coeficiente de concentración de las precipitaciones diarias (adimensional). Este se clasificó en tres categorías: bajo ($< 0,50$); moderado ($0,51-0,62$) y alto ($0,63-0,76$) según Sarricolea et al. (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la homogeneidad de la serie de precipitaciones

En la tabla 3 se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad a partir de la serie de precipitaciones anuales. Se demuestra estadísticamente que la serie es consistente y homogénea; puesto que el estadígrafo calculado (T) es menor que su valor crítico (T_c) y la probabilidad (P) es mayor que el valor de α para el 5 %; por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis de nulidad.

Tabla 3. Análisis de homogeneidad para la serie de precipitaciones anuales

| Estadígrafos | Submuestra 1983-1997 | Submuestra 1998-2012 |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Media | 1308,01 | 1169,32 |
| Varianza | 61254,10 | 78472,07 |
| Estadístico (T). | 1,39 | |
| Valor crítico de T para una cola | 1,71 | |
| Valor crítico de T para dos colas | 2,06 | |
| Probabilidad P para una cola | 0,09 | |
| Probabilidad P para dos colas | 0,18 | |

Comportamiento de las precipitaciones a partir del análisis descriptivo

En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis descriptivo para la serie de precipitaciones diarias en el periodo de estudio 1985-2012. Los valores promedio de la media y la desviación estándar fueron de 3,6 mm y 8,5 mm respectivamente. El coeficiente de variación fue muy alto con un valor de 272,5 %, lo cual era de esperar por la enorme dispersión que caracteriza a la serie de precipitaciones diarias donde un alto porcentaje de los días presentan precipitaciones nulas.

En la tabla 5 se exponen los resultados del análisis descriptivo de la serie de precipitaciones mensuales para el propio periodo de estudio. Se obtuvo que el valor de la media varió en función de la pluviosidad de cada mes; no obstante, los valores más elevados se encontraron en los seis meses más acuosos del año (desde mayo hasta octubre) donde las precipitaciones se encontraron por encima de los 100 mm, destacándose los meses de junio y septiembre con precipitaciones superiores a los 200 mm.

Tabla 4. Estadígrafos descriptivos de las lluvias diarias (1983-2012)

| Mes | Media X_m (mm) | Desviación estándar σ (mm) | Coefficiente de variación, C_V (%) |
|-------|---------------------|--------------------------------------|---|
| Ene | 1,0 | 3,3 | 330.0 |
| Feb | 1,2 | 4,5 | 375.0 |
| Mar | 1,3 | 4,3 | 330.8 |
| Abr | 1,6 | 5,4 | 337.5 |
| May | 6,0 | 13,3 | 221.7 |
| Jun | 7,2 | 15,8 | 219.4 |
| Jul | 4,0 | 9,2 | 230.0 |
| Ago | 6,1 | 12,9 | 211.5 |
| Sep | 6,8 | 14,3 | 210.3 |
| Oct | 4,4 | 10,1 | 229.5 |
| Nov | 2,0 | 5,7 | 285.0 |
| Dic | 1,1 | 3,2 | 290.9 |
| Media | 3,6 | 8,5 | 236.1 |

En la propia tabla 5 se observa que en los meses de noviembre hasta abril los valores de precipitaciones son inferiores a 60 mm; particularmente en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo donde las precipitaciones presentan valores cercanos a los 32 mm. La desviación estándar fue muy variable; pero los mayores valores estuvieron en el rango de 90,6 a 147,2 mm y pertenecieron a los meses de mayo, junio, septiembre y octubre. El valor promedio del coeficiente de variación fue de 85,0 %.

Tabla 5. Estadígrafos descriptivos de las lluvia mensual (1983-2012)

| Mes | Media X_m (mm) | Desviación estándar σ (mm) | Coefficiente de variación, C_V (%) |
|-------|---------------------|--------------------------------------|---|
| Ene | 32,4 | 24,0 | 74,0 |
| Feb | 32,1 | 35,0 | 109,1 |
| Mar | 35,5 | 38,7 | 108,9 |
| Abr | 52,1 | 62,7 | 120,4 |
| May | 170,7 | 125,0 | 73,2 |
| Jun | 228,9 | 147,2 | 64,3 |
| Jul | 129,6 | 72,5 | 55,9 |
| Ago | 171,2 | 73,3 | 42,8 |
| Sep | 212,3 | 119,8 | 56,4 |
| Oct | 118,9 | 90,6 | 76,2 |
| Nov | 59,9 | 52,8 | 88,2 |
| Dic | 32,1 | 48,5 | 151,1 |
| Media | 106,3 | 74,2 | 85,0 |

El comportamiento de las precipitaciones en una escala de tiempo anual se muestra en la tabla 6, donde se observa que la media fue de 1243,5 mm, con una mediana muy cerca de la media con valor de 1256,8 mm y un coeficiente de variación de 25,7 %, notablemente inferior en comparación con el análisis a escala de tiempo mensual. Lo anterior confirma el comportamiento aleatorio de las precipitaciones; en este sentido Azorín (2005) encontró un coeficiente de variación de 41,7 % y una desviación estándar de 97,2 mm en la localidad de Villena en Alicante, España.

Tabla 6. Estadígrafos descriptivos de las lluvias anuales (1983-2012)

| Estadígrafos | P (mm) |
|-------------------------------|--------|
| Media (mm) | 1243,5 |
| Mediana (mm) | 1256,8 |
| Desviación estándar (mm) | 319,4 |
| Coefficiente de variación (%) | 25,7 |

En la tabla 7 se expone el comportamiento del coeficiente de irregularidad temporal correspondiente a la serie de precipitaciones diaria, mensual y anual con valores promedio de 18,3 %, 52,9 % y 30,7 % respectivamente para el municipio de Ciego de Ávila. En el caso de las precipitaciones diarias y mensuales se observa que el valor de este coeficiente es 14,9 y 1,3 veces inferior al coeficiente de variación respectivamente; sin embargo para las precipitaciones anuales el valor del coeficiente es cercano al coeficiente de variación.

Este resultado es similar a los calculados por Sarricolea et al. (2013) en el territorio continental de Chile; específicamente en las localidades de Temuco, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Coyhaique y Balmaceda con valores comprendidos entre 22,0 y 28,6 %. Los resultados encontrados en esta investigación confirman la utilidad de usar el coeficiente de irregularidad temporal de las precipitaciones para medir la variabilidad de las precipitaciones, porque tiene en cuenta el orden cronológico de esta variable climatológica.

Tabla 7. Coeficiente de irregularidad temporal

| Pluviómetro | S_i diario (%) | S_i mensual (%) | S_i anual (%) |
|-------------|------------------|-------------------|-----------------|
| CA - 87 | 17,6 | 48,9 | 25,2 |
| CA - 102 | 21,1 | 56,3 | 40,1 |
| CA - 722 | 16,8 | 53,9 | 28,9 |
| CA - 894 | 17,9 | 52,7 | 28,4 |
| Media | 18,3 | 52,9 | 30,7 |

Análisis de las precipitaciones diarias según el rango de agrupación

En la figura 4 se muestran los valores de las lluvias según su clasificación acorde con los criterios de CONAGUA. Se observa que el tipo de lluvia predominante es la lluvia nula (LL_N) la cual se presenta como promedio en 273 días del año con un 74,8 % de ocurrencia, seguido por las lluvias ligeras (LL_L) dominante en 43 días del año con el 11,8 %; luego se encuentran las lluvias moderas (LL_M) en 28 días del año para un 7,7 %. Las lluvias fuertes (LL_F) se producen en 16 días del año, fundamentalmente en los seis meses más pluviosos y representan el 4,4 %. El resto de las lluvias son del tipo intensas (LL_I) con 4 días en el año y torrenciales (LL_T) un día en el año respectivamente para un 1,3 % entre ambas.

En la figura 5 se muestra la distribución de las precipitaciones en los tres intervalos de intensidades propuestos por Marzol et al. (2006). Se observa que la intensidad de lluvia diaria predominante en el municipio es la que presenta una cuantía inferior a 50 mm en 24 horas, las cuales ocurren como promedio durante 86 días en el año con un 93,5 % respecto al total de días con lluvias en el año.

Las lluvias diarias comprendidas en el intervalo de 50-100 mm ocurren en 5 días al año para un 5,4 % respecto al total de días con lluvias en el año y las lluvias diarias superiores a 100 mm suceden sólo un día en el año para el 1,1 % respecto al total de días con lluvias en el año. Se comprobó que como promedio en el municipio de Ciego de Ávila se dispone de 92 días con lluvias; por lo que sólo llueve el 25 % de los días del año. Estos resultados son superiores al reportado por Marzol et al. (2006) en Santa Cruz de Tenerife, España donde encontró un valor de 15 % de lluvia para los días del año.

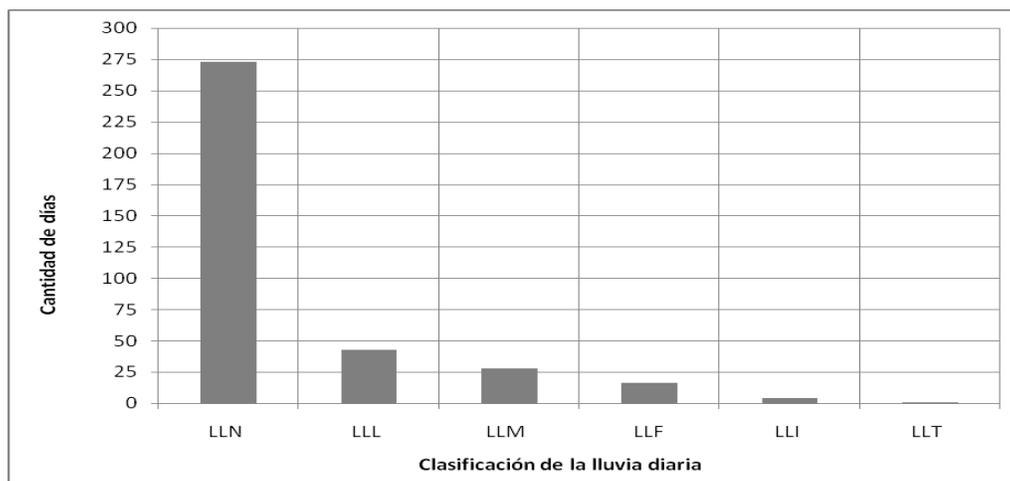


Figura 4. Distribución de las lluvias diarias según el rango de agrupación

El análisis de la serie a escala de tiempo diario permitió definir que las precipitaciones intensas ocurren en los seis meses de mayor pluviosidad: mayo, junio, julio agosto, septiembre y octubre; pero las lluvias torrenciales sólo aparecen en los meses de junio y septiembre con valores que van desde 165 hasta 306,7 mm en 24 horas, lo que triplica y sextuplica la intensidad diaria de 50 mm. Resultados similares fueron registrados por Marzol et al. (2006) en Santa Cruz de Tenerife al encontrar meses en que las lluvias diarias cuadruplicaron y quintuplicaron los 50 mm.

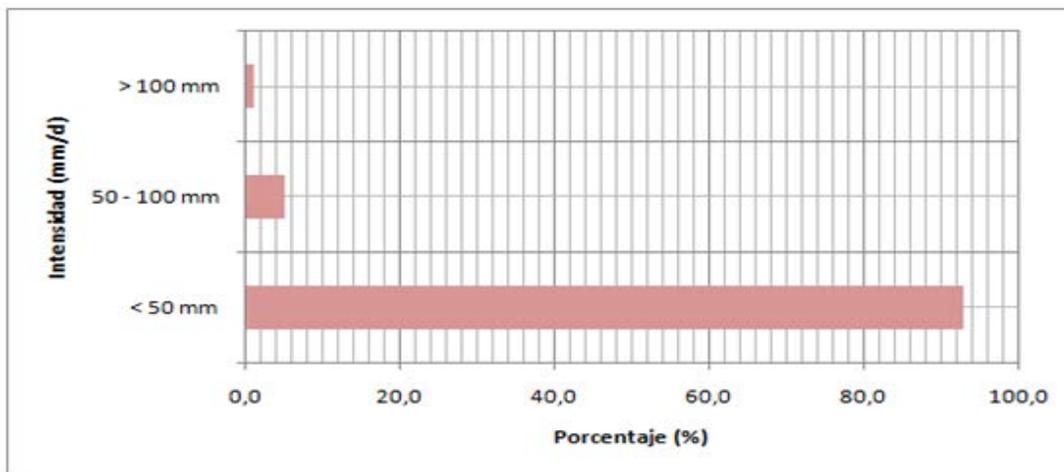


Figura 5. Distribución de las precipitaciones en tres intervalos de intensidades

En la figura 6 se presenta el número de días con precipitaciones por mes en el periodo 1983-2012. Se distingue que los seis meses del periodo lluvioso presentan 9 ó más días con precipitaciones; destacándose junio y septiembre con 14 y 15 días respectivamente, seguido de julio que alcanza un valor de 12 días. El menor número de días con precipitaciones se encontró en los meses de enero, febrero y marzo con tres días, seguido por abril y diciembre con 4 días.

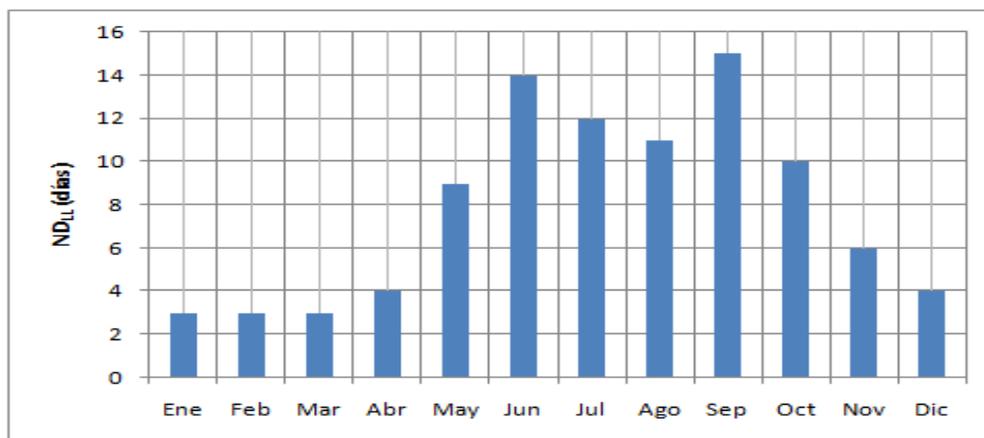


Figura 6. Número de días con lluvias por mes en el periodo 1983-2012

Caracterización de los meses según la probabilidad de la precipitación mensual

En la tabla 8 se muestran los valores de probabilidad de la precipitación mensual media en el municipio Ciego de Ávila en el periodo 1983-2012. Los datos de precipitaciones se ajustaron satisfactoriamente a la distribución normal al demostrarse estadísticamente que el estadígrafo Δ de la prueba de Kosmogorov-Smirnov alcanzó un valor de 0,192 que es muy inferior al valor

crítico Δ_0 que fue de 0,471 para $\alpha = 0,01$. Los resultados de esta probabilidad permitieron determinar el comportamiento acuoso de los meses; verificándose que junio y septiembre son meses muy húmedos (MH) con 228,90 y 212,30 mm respectivamente; los meses de mayo y agosto se comportan húmedos (H); los meses de julio, octubre y noviembre se clasifican como normales (N); mientras que enero, febrero, marzo, abril y diciembre resultan ser secos (S) con valores de precipitación entre 32,10 a 52,10 mm.

Tabla 8. Clasificación de los meses según probabilidad de la precipitación

| Meses | P (mm) | P _r (%) | Clasificación |
|-------|--------|--------------------|---------------|
| Ene | 32,40 | 16,2 | S |
| Feb | 32,10 | 16,1 | S |
| Mar | 35,50 | 17,3 | S |
| Abr | 52,10 | 23,5 | S |
| May | 170,70 | 80,5 | H |
| Jun | 228,90 | 94,9 | MH |
| Jul | 129,60 | 62,2 | N |
| Ago | 171,20 | 80,6 | H |
| Sep | 212,30 | 92,1 | MH |
| Oct | 118,90 | 56,7 | N |
| Nov | 59,90 | 26,8 | N |
| Dic | 32,10 | 16,1 | S |

Análisis de la persistencia de las precipitaciones

En la figura 7 se muestra el número y longitud media de las rachas lluviosas; así como el número de días con precipitaciones habiendo llovido el día anterior. Se observa que los meses de junio, agosto, septiembre y octubre presentan la mayor cantidad de número de rachas lluviosas con valor de 3. En el periodo comprendido entre mayo y noviembre la longitud media de las rachas lluviosas supera el valor de 4, destacándose junio y julio con 6 y 7 rachas respectivamente. Los resultados logrados concuerdan con los de Azorín (2005) quien encontró valores de longitud media de las rachas lluviosas de 3,29 días en estudios realizados en la localidad de Villena en Alicante, España. El número de días con precipitaciones habiendo llovido el día anterior es superior a 8 en los meses de junio a octubre; aunque en junio y septiembre se encuentran valores que sobrepasan los 11 días. Estos resultados son superiores a los reportados por Azorín (2005) quien encontró secuencias máximas entre 7 y 9 días consecutivos. Según este propio autor, este comportamiento demuestra la inercia a persistir de las condiciones atmosféricas inestables, de tiempo perturbado y muy lluvioso.

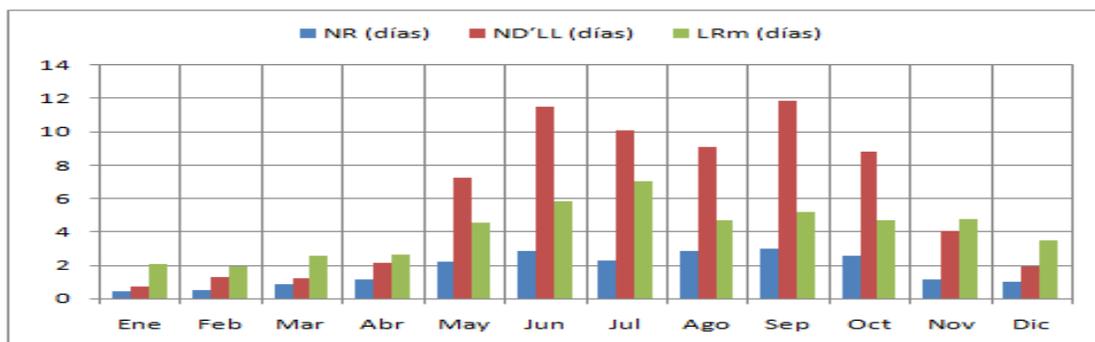


Figura 7. Número y longitud media de rachas; número de días con precipitaciones después de haber llovido

En la figura 8 se muestran los resultados de las probabilidades de precipitación y del coeficiente de persistencia, donde se observa que la probabilidad de los días con precipitaciones (p) presenta un valor promedio de 0,27; alcanzándose los valores más elevados en los meses de septiembre, junio, agosto, julio y octubre con 0,47; 0,46; 0,40; 0,38 y 0,37. La probabilidad de que un día llueva habiendo llovido el anterior (p') tuvo una tendencia similar al de la probabilidad (p) con un valor promedio de 0,61 que es prácticamente el doble de esa probabilidad. En este sentido el resultado obtenido coincide con Martín-Vide (2004) el cual comprobó que la probabilidad de los días con precipitaciones es inferior a la probabilidad de que un día llueva habiendo llovido el anterior.

Los mayores valores de p' correspondieron a los meses de septiembre, junio, julio, octubre y agosto. Este comportamiento corrobora la persistencia de los días lluviosos y ratifica estadísticamente el estado de inercia de los días de lluvias; pues según Azorín (2005) cuando se cumple la regla de que $p' > p$ se confirma la persistencia de los días con precipitación.

En la propia figura 8 se muestran los resultados del coeficiente de persistencia de Besson (R_B) el cual alcanzó un valor promedio de 0,63 en el periodo evaluado; correspondiendo los valores más altos a los meses de septiembre, junio, mayo, noviembre y agosto con 0,88; 0,87; 0,84; 0,72 y 0,71 respectivamente. Martín-Vide (2004) obtuvo un valor 0,56 para el coeficiente de Besson en estudios realizados en Barcelona y demostró que las variaciones de R_B y de la precipitación a lo largo del año no son concordantes.

Análisis del índice de concentración de las precipitaciones diarias

En las figuras 9 y 10 se muestran los resultados de la curva exponencial del tipo $y=ae^{bx}$ encontrada en los cuatro pluviómetros estudiados, en los que se observa un ajuste casi perfecto al encontrarse en todos los casos coeficientes de determinación en el rango de 0,964 a 0,995. En la figura 11 se presenta la curva exponencial para el municipio Ciego de Ávila la cual alcanzó también un elevado coeficiente de determinación de 0,993 y coeficientes de ajustes con valores de: $a=0,453$ y $b=0,053$. Los valores del área sobre la curva y bajo la recta de equidistribución (S') y del área bajo la curva exponencial de ajuste (A') fueron de 3235,7 y 1764,3 unidades de superficie respectivamente.



Figura 8. Probabilidades y coeficiente de persistencia de la lluvia

El coeficiente de concentración de la precipitación diaria en Ciego de Ávila es de 0,64 y clasifica como alto (tabla 9). Este valor es similar en el resto de los pluviómetros excepto en el CA-102 donde el resultado estuvo por debajo de 0,63 por lo que su categorización es de moderado.

Este resultado se corresponde con las características de esta zona en que las precipitaciones diarias menores de 50 mm se concentran sólo en el 23,6 % de los días del año y en los pocos días restantes ocurren las precipitaciones de mayor intensidad con valores superiores que 50 mm en 24 horas. Los resultados indican que en el municipio de Ciego de Ávila el 25 % de los meses más lluviosos y los seis meses del periodo húmedo aportan el 48,0 % y el 80,9 % de la lluvia anual respectivamente. Índices de concentración con valores altos de 0,63 y 0,65 fueron encontrados por Máyer y Marzol (2014) en Lanzarote y Fuerteventura,, respectivamente, pertenecientes a las Islas Canarias, España.

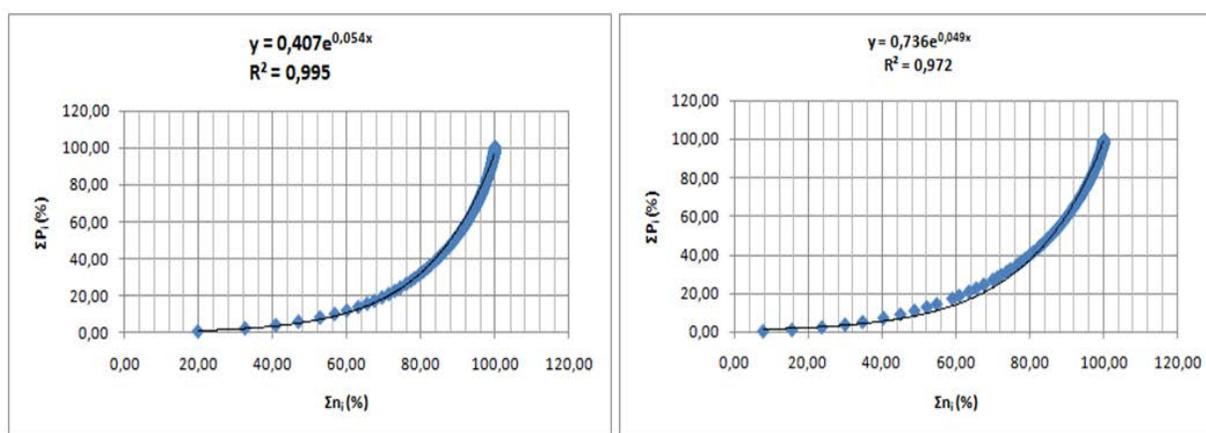


Figura 9. Curva exponencial de la lluvia diaria en los pluviómetros CA-87 y CA-102

Tabla 9. Coeficiente de concentración de la lluvia diaria

| Pluviómetro | CA-87 | CA-102 | CA-722 | CA-894 | Media |
|-------------|-------|--------|--------|--------|-------|
| C_I | 0,66 | 0,59 | 0,66 | 0,65 | 0,64 |

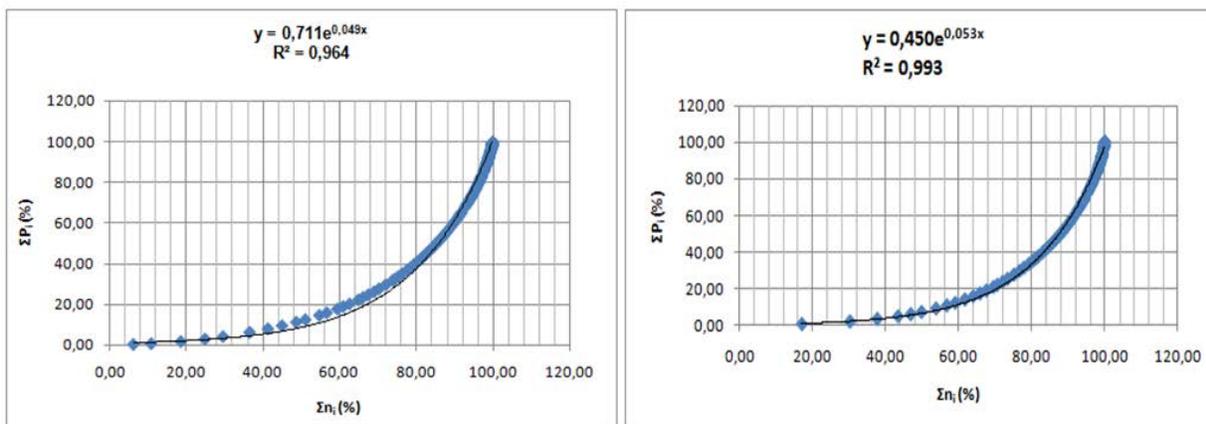


Figura 10. Curva exponencial de la lluvia diaria en los pluviómetros CA-722 y CA-894

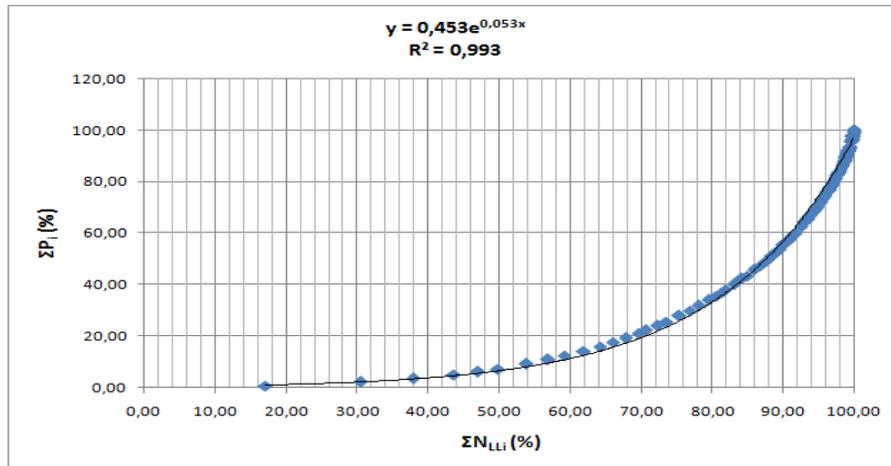


Figura 11. Curva exponencial de la lluvia diaria en Ciego de Ávila

CONCLUSIONES

- El análisis descriptivo de la serie de lluvias anuales determinó un valor medio de 1243,5 mm y un coeficiente de variación de 25,7 %; mientras que en el caso de la serie de lluvias diarias y mensuales la media varió en función de la pluviosidad; encontrándose los valores más elevados en los seis meses más acuosos del año.
- El coeficiente de irregularidad temporal alcanzó valores de 18,3 %; 52,9 % y 30,7 % para las precipitaciones a escala diaria, mensual y anual respectivamente.
- En el municipio Ciego de Ávila el tipo de lluvia predominante es la lluvia nula la cual se presenta en 273 días del año con un 74,8% de ocurrencia, seguido por las lluvias ligeras presentes en 43 días del año con el 11,8% y las lluvias moderadas en 28 días del año para un 7,7 %. Las lluvias fuertes aparecen 16 días del año para el 4,4 % y las lluvias intensas y torrenciales constituyen el 1,3%.
- En el municipio Ciego de Ávila la intensidad de lluvia diaria predominante es la inferior a 50 mm en 24 horas, las cuales suceden durante 86 días en el año. Los meses más húmedos son junio y septiembre con 228,9 y 221,3 mm promedio respectivamente.
- La mayor cantidad de número de días con lluvias en el municipio de Ciego de Ávila se presenta en los seis meses del periodo lluvioso con un valor igual o superior a 9 días; destacándose junio y septiembre con 14 y 15 días con lluvias respectivamente.
- Los meses con categoría de muy húmedo (*MH*) son los correspondientes a los meses de mayo hasta octubre. Los normales (*N*) son enero, febrero, marzo, abril y noviembre; mientras que el mes más seco (*MS*) correspondió a diciembre.
- En el año se dispone como promedio de 92 días con lluvias. La mayor cantidad de rachas lluviosas se encontraron en los meses de junio, agosto, septiembre y octubre con valor de 3. Estos mismos meses alcanzaron también los valores más elevados de longitud media de las rachas con 5,8; 4,7; 5,2 y 4,7 días.
- La probabilidad de días con precipitaciones (p) fue de 0,27 y la probabilidad de que un día llueva habiendo llovido el anterior (p') fue 0,61. Este último valor resultó ser más de dos veces superior al primero; por lo que se corrobora la persistencia de la lluvia en el municipio de Ciego de Ávila; debido a que en todos los casos $p' > p$. La persistencia también se confirmó

mediante el coeficiente de persistencia de Besson (R_B) que alcanzó un valor promedio de 0,63.

- El coeficiente de concentración de las precipitaciones diaria fue de 0,64 lo que indica una alta concentración de la lluvia, debido a que el 25 % de los meses más lluviosos y los seis meses del periodo húmedo aportan el 48,0 % y el 80,9 % de la lluvia anual respectivamente.

REFERENCIAS

- Azorín C.** (2005) “Análisis Probabilístico de la Persistencia de los días de Lluvias en Villena (Alicante) durante la Primavera de 2004”. Nota Técnica, pp.111-126, ISSN: 0213-4619, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, España.
- Benhamrouche A. y Martín-Vide J.** (2012) “Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular”. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 32: 11-27, ISSN: 0211-9803, España.
- Elías F. y Castellví F.** (1996) “Agrometeorología”. Ediciones Mundi-Prensa, pp. 251, ISBN 0365-2807, Madrid.
- Escalante C. y Amores L.** (2013) “Análisis de la precipitación en la costa de Chiapas”. XI Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y VII Seminario Internacional del Uso del Agua. 1-5 de Octubre, ISBN: 978-607-7601-96-8, Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, Ciego de Ávila, Cuba.
- González L.; Marrero N.; Jorge M. del C. y Martínez J. B.** (2007) “Temas de Hidrología Superficial para Ingenieros”. Editorial Félix Varela, pp. 21-24, ISBN: 978-959-07-0310-2, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Martín-Vide J.** (2004) “Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain”. International Journal of Climatology, 24(8): 959–971, ISSN: 1097-0088, Royal Meteorological Society, UK.
- Marzol M. V.; Yanes A.; Romero C.; Brito de Azevedo E.; Prada S. y Martins A.** (2006). “Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia: Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde”. Revista Clima, Sociedad y Medio Ambiente, serie A, No. 5, pp. 443-452, ISSN: 1139-7136, Asociación Española de Climatología, Zaragoza, España.
- Máyer P. y Marzol M. V.** (2014) “La concentración pluviométrica diaria y las secuencias lluviosas en Canarias: dos factores de peligrosidad”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, No. 65, pp. 231-247, ISSN: 0212-9426, Asociación de Geógrafos Españoles, España.
- Sarricolea P.; Herrera M. J. y Araya C.** (2013) “Análisis de la concentración diaria de las precipitaciones en Chile central y su relación con la componente zonal (subtropicalidad) y meridiana (orográfica)”. Investigaciones Geográficas, 45: 37-50, ISSN: 0379-8682, Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, Chile.
- Villón M. G.** (2012) “HidroEsta 2. Manual del usuario”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ediciones CDMB, pp.384, ISBN: 978-9968-514-16-3, Cartago, Costa Rica.
- Zubieta R. y Saavedra M.** (2009) “Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: valle del río Mantaro”. Revista Tecnica 19 (2), 13-22, ISSN: 2309-0413, Instituto General de Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.