

Procesamiento automatizado de datos de pluviógrafos: un caso de estudio

Prof. Dr. Alcides Juan León Méndez e-mail: aleonm@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Marianao, La Habana.

Prof. Dra. Yakelín Rodríguez López e-mail: yake@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Marianao, La Habana.

Ing. Alejandro Rojas León e-mail: alejandrrol@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Marianao, La Habana.

Ing. Lianelys Valdés Ordaz e-mail: lia@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, Marianao, La Habana.

RESUMEN

En los últimos 25 años en Cuba se han acumulado miles de registros de lluvia que permanecen almacenados sin procesar. El presente trabajo presenta una forma de procesamiento para esa información, y ejemplifica con un caso de estudio, a partir de cartas pluviográficas brindadas por el Instituto de Meteorología. El pos-procesamiento de la información se realizó con una metodología basada en hojas de cálculo, que permiten obtener los registros históricos de la lluvia en cualquier estación climatológica donde estén instalados registradores de lluvia con almacenamiento en cartas o digital. Como caso de estudio, que ejemplifica la aplicación de la metodología, aparecen los resultados de la lluvia procesada en la Estación Meteorológica 373 del Instituto de Meteorología.

Palabras clave: intensidad de la lluvia, pluviógrafos, procesamiento.

Computer data processing for rain-gauge data: a study case

ABSTRACT

During the last 25 years thousands of rainfall records have been accumulated without any data processing in Cuba. This study is presenting a new approach for analyzing such amount of information and gives a study case with rain-gauge charts from the Institute of Meteorology in Havana, Cuba. Using this data processing methodology based on spread sheets a complete historical rainfall records can be obtained at any weather station where a rain-gauge has been installed with digital or chart storage. In the study case, results from processed rainfall in Meteorological Station 373 are shown.

Keywords: rainfall intensity, bucket raingauge, processing.

INTRODUCCIÓN

En la república de Cuba se cuenta con una información pluviográfica adecuada, o de buena calidad en general, desde los primeros años de la década del 60, cuando a partir de la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) fue instalada la Red Pluviográfica Nacional, hasta 1985, año a partir del cual esta actividad comenzó un período de dificultades que afectó su gestión y mantenimiento y que se fue acrecentando en el tiempo. En la actualidad existe muchísima información pluviográfica sin procesar. Esto se debe, en parte, a la falta de especialistas para la interpretación de las cartas y también debido al tiempo que consume llevar la información del papel a formato digital, por los métodos tradicionales (Rodríguez 2009), (Andalia 2012).

La información básica proveniente de los pluviógrafos es la intensidad de la lluvia. Este parámetro es fundamental para la etapa de diseño de cualquier obra hidráulica por la cual deba transitar el escurrimiento superficial proveniente de la lluvia, también es un parámetro fundamental en el pronóstico de las inundaciones producidas por intensas lluvias y muchas otras aplicaciones en el campo del proyecto, la operación de sistemas y el estudio de las variables climatológicas. Para predecir caudales críticos e inundaciones y para la ingeniería del diseño de las obras hidráulicas, es necesario asociar una probabilidad a lluvias máximas de diferentes duraciones. Deducir la probabilidad de ocurrencia de un evento requiere contar con registros continuos de precipitación, a partir del procesamiento de la información pluviográfica.

El pluviógrafo, figura 1 izquierda, tiene por función registrar en una carta preparada al efecto, o en formato digital, la cantidad de agua caída en un periodo de tiempo determinado, lo cual permite establecer la distribución e intensidad de las lluvias, determinar la hora de comienzo y final de la precipitación así como los valores que caracterizan la intensidad, que comúnmente se da en unidades de milímetros de lámina de lluvia caídos en una hora (Rodríguez 2009), (Andalia 2012).

La medición de la intensidad de lluvia en los pluviógrafos tradicionales emplea un mecanismo de relojería que mueve un tambor, en el cual va ubicada la cartilla donde se graba, por una plumilla entintada, el registro de la lluvia caída de forma instantánea. De acuerdo con el sistema de llenado y vaciado del recipiente colector estos instrumentos presentan diariamente un registro gráfico de la lluvia caída, figura 1 derecha (Delgado y Portal 2008). Regularmente el procesamiento de estas cartas se realiza, manualmente, por especialistas en hidrología. Desde hace años la falta de este personal especializado y lo laborioso del trabajo a realizar han traído como consecuencia que se almacenen las cartas y desde hace más de veinte años muy pocas se procesan a fondo, extrayendo de ellas toda la información necesaria para la caracterización de la lluvia que necesitan los trabajos de ingeniería.

El trabajo que se presenta recoge los resultados del pos-procesamiento de la información pluviográfica de la Estación Meteorológica 373 ubicada en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT) entre los años 2001 a 2013, almacenada y conservada en los archivos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Esta estación está ubicada en las coordenadas Latitud: 22°58'40" Norte, Longitud: 82°23'18", Elevación: 78,37 m. Es una de las tres estaciones meteorológicas que triangulan la provincia La Habana, junto con la estación de Casablanca (Estación Meteorológica No. 325) y Tapaste (Estación Meteorológica No. 374), figura 2. Las lluvias procesadas tienen diferentes orígenes: lluvias convectivas (propias del verano, caracterizadas por su corta duración y gran

intensidad) y las frontales (debidas a la influencia de los frentes fríos, son de larga duración y poca intensidad). En el procesamiento de los aguaceros fueron de mayor interés las lluvias convectivas debido a su intensidad y no se tiene reporte de ocurrencia de algún ciclón o huracán durante el periodo analizado.

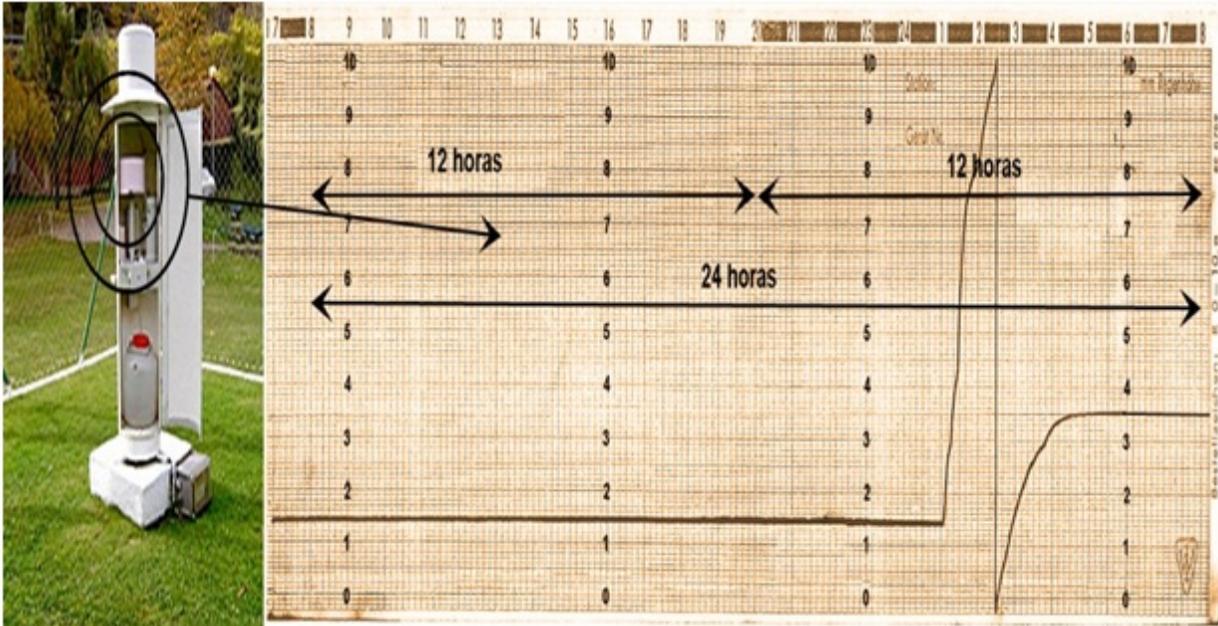


Figura 1. Pluviógrafo de cartilla y cartilla

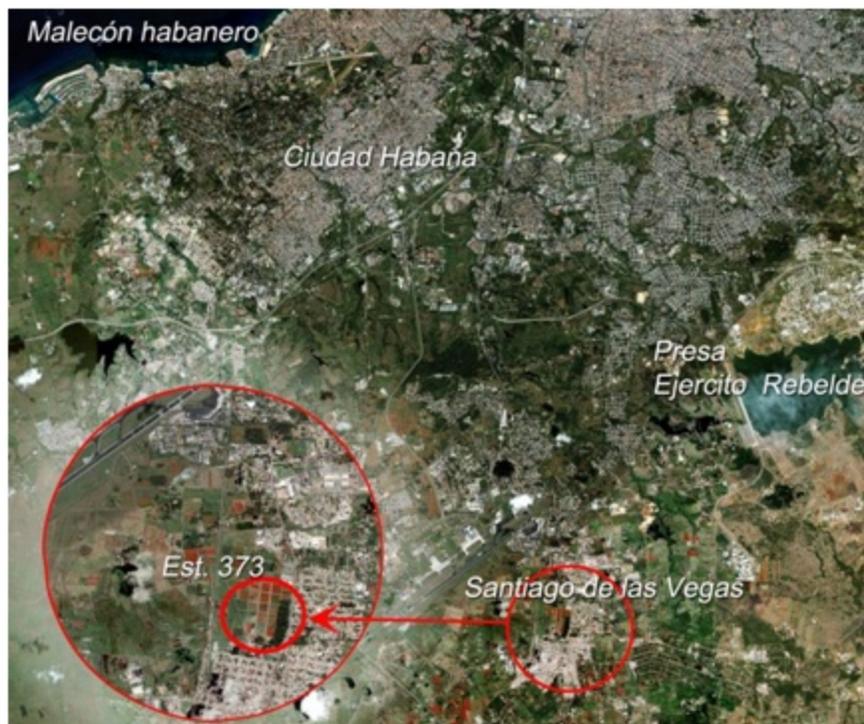


Figura 2. Ubicación de la Estación 373

METODOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO AUTOMATIZADO DE LA LLUVIA DIARIA, MENSUAL, ANUAL Y MULTIANUAL

El método para el procesamiento automatizado para la lluvia diaria que se dispone hoy en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) tiene su origen en León et al. (2009), en Legón (2013) y en Valdés (2014). El método se basa en el empleo de múltiples libros conteniendo hojas de cálculo (Excel o cualquier variante de software libre). Para cada pluviógrafo hay tantos libros como años de información existan, cada uno de estos libros representa un año en particular (Libro del Año) y están conformados por una hoja de presentación, una hoja para cada uno de los días del año hidrológico y tres hojas finales para el procesamiento de cada uno de los meses y del año.

Cada pluviógrafo tiene asignado otro libro (Libro del Pluviógrafo), en cuyas páginas se procesan todos los Libros del Año que previamente se han procesado, resumiéndose la información multianual en tablas y gráficos (León et al. 2013).

Dos últimos libros, que no se detallarán en este trabajo, son los encargados de procesar la información de los libros multianuales correspondientes a pluviógrafos ubicados en regiones aledañas, provincias o cualquier otra zona del territorio nacional en la que se desee estudiar el comportamiento de la lluvia (Libros Sub-regional y Regional), figura 3.

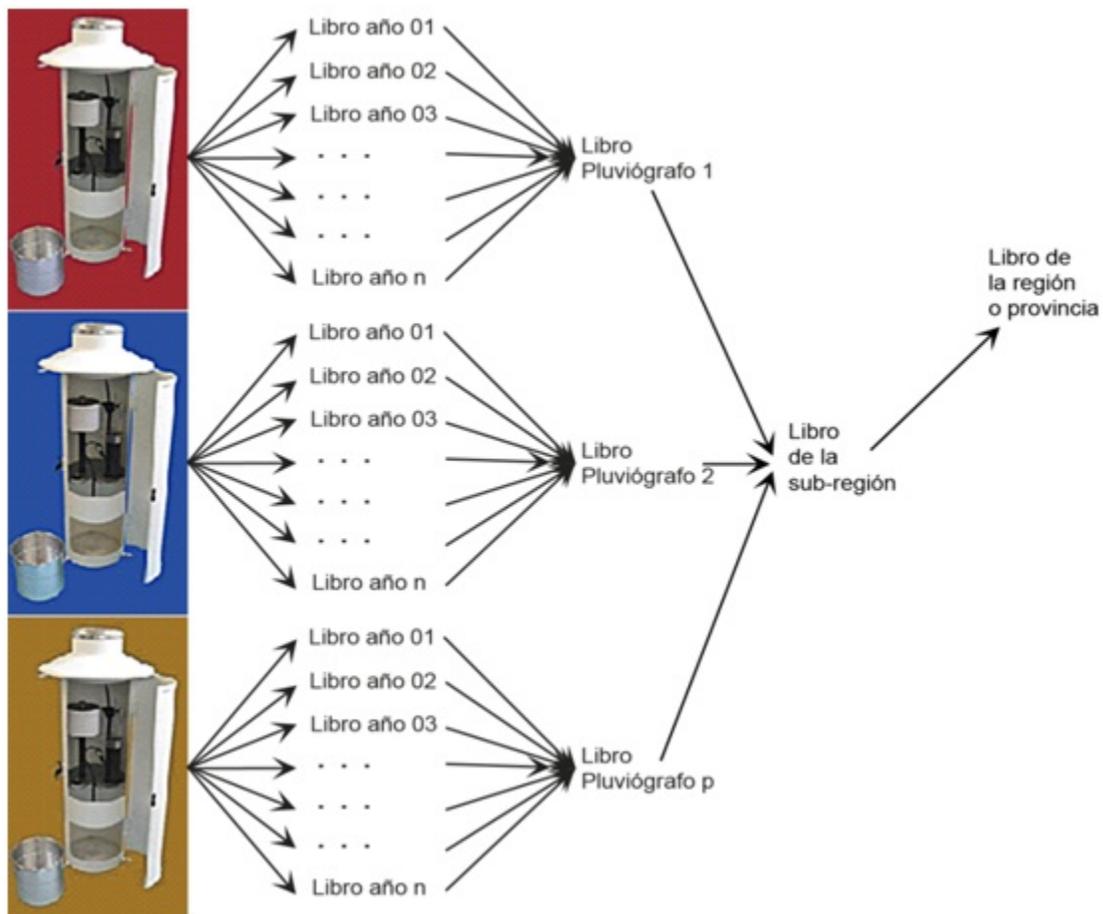


Figura 3. Esquema de los Libros para el pos-procesamiento

Procesamiento diario

En resumen el método parte de la digitalización de la cartilla pluviográfica, figura 4. En esta figura se ha incorporado, debajo de la carta original, la carta reproducida a partir de los datos digitalizados, para destacar la completa similitud entre ambas. A la derecha de la carta digitalizada, se agrega la tabla donde aparece la información de la carta digitalizada, a partir de los puntos que se tomaron para su representación. La tabla aparece truncada debido a su extensión y por tanto solo se muestran las filas iniciales y tres filas finales.

El proceso de la toma de muestra para la representación digital de cada carta, es un paso que se realiza manualmente, auxiliado de un scanner de 300 dpi, o más, o una cámara fotográfica digital montada en un trípode. Posteriormente se emplea un primer programa, realizado en Visual Basic para Excel, para convertir la imagen en un conjunto de datos numéricos. Este proceso debe ser realizado con rigor ya que de él dependen los resultados que se alcancen.

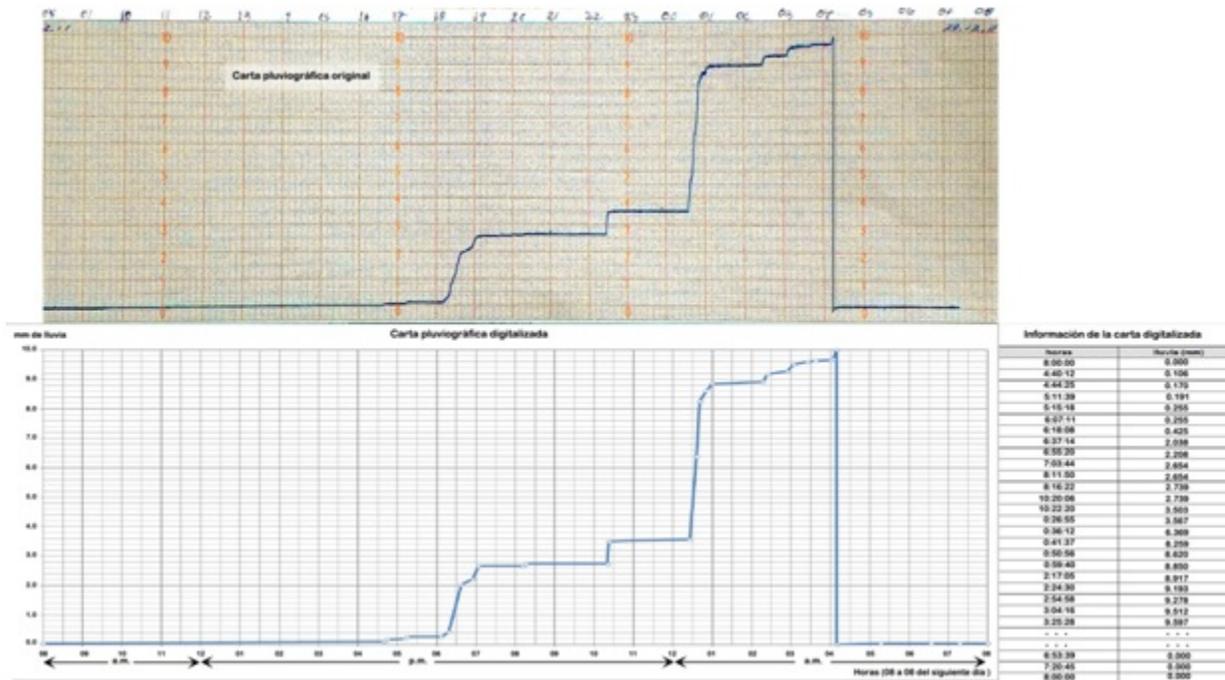


Figura 4. Cartilla pluviográfica original y digitalizada

Una vez obtenidos los datos que representan la carta pluviográfica, se procesa la información de cada día, empleando la hoja correspondiente del Libro del Año. Al procesar cada hoja se construyen, automáticamente, las tablas y gráficos que recogen los parámetros de la lluvia caída en las 24 horas, que comienza a las 8:00 a.m. del día en cuestión, hasta las 8:00 a.m. del siguiente día, figura 5 y figura 6.

El eje de tiempo de los gráficos de la figura 6, correspondientes al Pluviograma acumulativo y al Hietograma, aparece en horas, décimas y centésimas de horas para facilitar su representación en el eje. En el caso de los gráficos que presentan el Pluviograma acumulativo se hace cada una hora y en el Hietograma normalizado, el eje del tiempo se representa en horas.

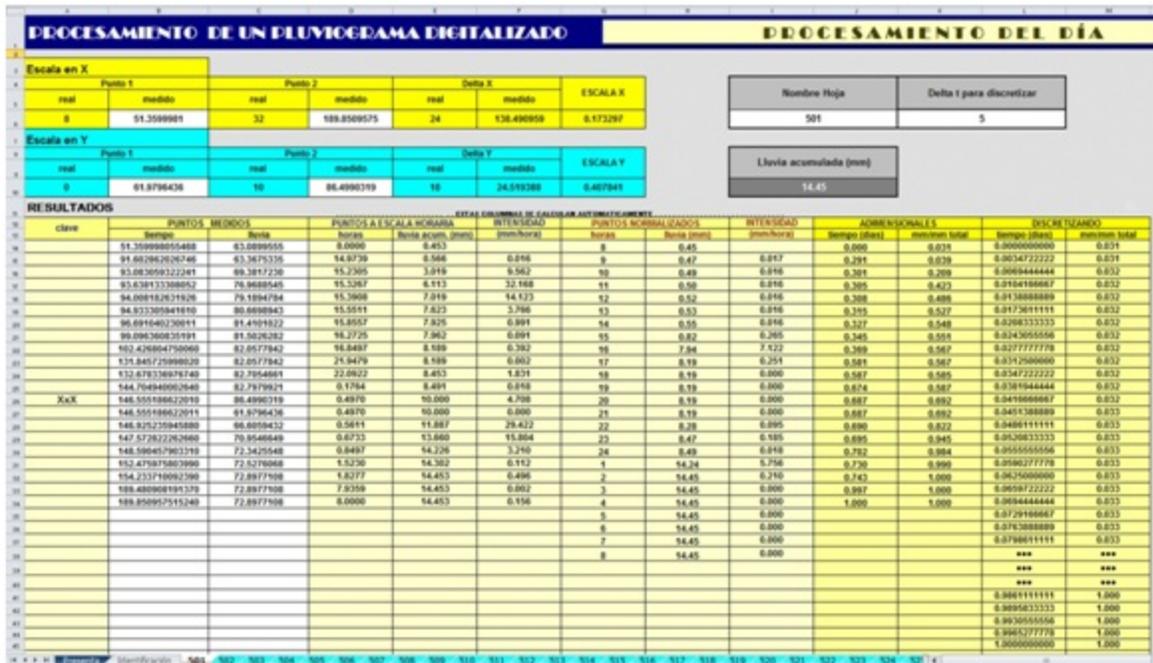


Figura 5. Procesamiento de la lluvia diaria: tabla de resultados

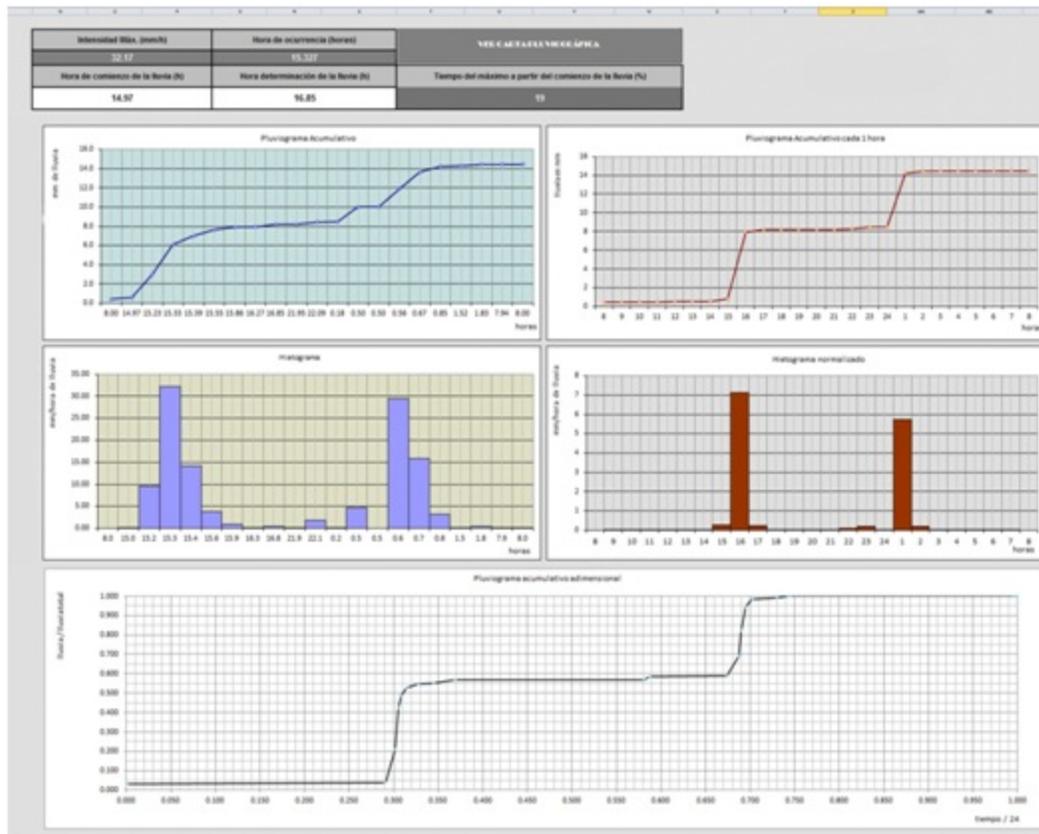


Figura 6. Procesamiento de la lluvia diaria: gráficas de resultados

Procesamiento mensual y anual

Una vez completada la información del año, o si se prefiere al completar la información de cada mes, se ejecutan los programas que procesarán la información recolectada en el Libro del Año, figura 3. Lo más valioso de este procesamiento, es que se crean las bases informativas para el procesamiento multianual, que es quien determina las tendencias de la lluvia en la región de influencia del pluviógrafo. Un ejemplo de lo que se obtiene en este paso del proceso aparece, como ejemplo, en la figura 7.

En la figura 7 se encuentra ubicado, en la parte superior de la misma, el procesamiento para un año determinado de la lluvia del mes de mayo, con el eje que corresponde a la lámina caída en valor adimensional respecto al total del mes. La simbología de cada uno de los días aparece en el cuadro a la derecha de la propia figura. En ella el número 5 identifica al mes, en este caso mayo, los dos restantes corresponden al día del mes (desde 01 hasta 31 en este caso). El total acumulado en ese mes aparece tabulado y graficado en la propia figura, en la parte inferior derecha.

En la parte inferior izquierda de la figura 7, aparecen tabulados los totales del año, por periodo seco y húmedo y por meses y graficados esos resultados inmediatamente debajo de la tabla.



Figura 7. Ejemplo de parte de la información procesada en el libro del año.

Procesamiento multianual

Por último, una vez completados dos años, o más, se ejecutan los programas del libro que se dedican al procesamiento multianual del pluviógrafo (Libro del Pluviógrafo), figura 3. Es indudable que mientras más años se procesen, mejor y más confiables serán los resultados que se obtengan. Este último paso brinda la posibilidad, en caso de tener una gran cantidad de años, de procesar la información en su totalidad y por periodos de tiempo determinados. De esta forma es posible estudiar el efecto del cambio climático en las características de la lluvia. En este paso del procesamiento se ejemplifica con los datos obtenidos para la Estación 373.

CASO DE ESTUDIO: ESTACIÓN METEOROLÓGICA 373

El trabajo de procesamiento se aplicó a la lluvia registrada entre los años 2001 y 2013, por el pluviógrafo de la Estación Meteorológica 373 ubicada en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT). No aparecen procesados los años 2008 y 2009, por no haberse obtenido la información de los mismos.

Aunque la información sea escasa, para que permita obtener una tendencia que caracterice la lluvia en esa región, es valioso su procesamiento con el método aquí expuesto, como ejemplo de los resultados que se pueden obtener en un futuro, en esta y otras estaciones climatológicas equipadas con pluviógrafos.

Un resumen de la lluvia acumulada durante los años procesados se obtiene como primer resultado, el cual aparece en las tablas 1 y 2. Analizando estos valores se puede concluir que los máximos valores de lluvia mensuales para los años procesados se presentan en los meses de junio y julio.

Tabla 1. Lluvias acumuladas anual y en los periodos húmedo y seco

	Total (mm)	Media (mm)	Max (mm)	Min (mm)
Anual=	7890,77	789,08	1123,78	438,62
Período Húmedo=	6310,17	631,02	918,51	208,68
Período Seco=	1580,60	158,06	272,16	63,32

Al procesar los gráficos adimensionales de las lluvias acumuladas, figura 8 y figura 9, se encuentra un corrimiento de las horas del día en que con más frecuencia llueve como función del mes que se analiza. En la figura 8 aparecen los meses húmedos del año hidrológico cubano (mayo-octubre), mientras que en la figura 9 aparecen los meses secos (noviembre-abril). Estos gráficos muestran el comportamiento de la lluvia en cada uno de los meses, representado en franjas patrones. Nótese que para los meses lluviosos este patrón está mejor definido que en los meses secos.

En los meses húmedos es evidente que en mayo el patrón de la lluvia comienza a organizarse entre las 13 y las 18 horas. Este momento de ocurrencia de los aguaceros se compacta más en los meses de junio y julio. En agosto y septiembre se concentran las lluvias en el horario entre las 13 y las 16 horas, mientras que en octubre la ocurrencia de los aguaceros comienza a distribuirse a lo largo del día, todavía con predominio del intervalo entre las 13 horas y las 20 horas. La duración de las lluvias oscila entre 20 y 50 minutos como tiempos medios y los picos de

intensidad máximo se producen en intervalos de tiempo que oscilan entre los 3 y los 10 minutos del comienzo de la lluvia.

Tabla 2. Lluvias acumuladas mensuales

	Total (mm)	Media (mm)	Max (mm)	Min (mm)
Mayo=	644,28	64,43	120,80	35,70
Junio=	1189,31	118,93	317,80	45,70
Julio=	1220,55	122,05	320,13	0,00
Agosto=	1282,99	128,30	267,82	0,00
Septiembre=	1314,53	131,45	220,72	0,00
Octubre=	658,52	65,85	181,25	23,87
Noviembre=	318,81	31,88	74,07	7,32
Diciembre=	156,71	15,67	40,46	0,00
Enero=	291,68	29,17	95,09	0,00
Febrero=	308,30	30,83	120,89	0,00
Marzo=	301,32	30,13	128,57	0,00
Abril=	203,77	20,38	67,32	0,00

En la figura 9 dedicada a los meses secos del año hidrológico cubano, la dispersión en el momento de ocurrencia de las lluvias es evidente no pudiéndose enmarcar un intervalo de horas en que esto ocurre. El detalle de la duración de los aguaceros y la ocurrencia de la duración de la máxima intensidad se obtiene de un análisis de la información de la hoja donde se procesa la lluvia en el Libro del Año. En cada hoja aparece tabulada información sobre la lluvia y además el Hietograma, a partir de los datos originalmente digitalizados, figura 10. De estas dos informaciones se extrae el detalle de cada aguacero en particular que se procesa en las hojas finales de cada Libro del Año.

El pos-procesamiento en el Libro del Pluviógrafo, para los años recolectados, informa también sobre los acumulados, tanto mensual como anual y de cada uno de los dos periodos en que se divide el año hidrológico. La información se presenta en forma de tablas y gráficos, para su mejor comprensión, y es un complemento importante para analizar las lluvias en una región. Esta información puede obtenerse también de las estaciones pluviométricas existentes en el país y, al unir las a las obtenidas por esta vía, se refuerzan los análisis que de ella se deriven.

La nueva versión del programa, en fase de prueba en estos momentos, incluye información sobre la intensidad de la lluvia a partir del hietograma natural y hietogramas normalizados cada una, media, un cuarto y un octavo de hora y la intensidad media máxima calculada teniendo en cuenta el tiempo efectivo que demora en caer la lluvia. Esta nueva versión y el procesamiento de una cantidad representativa de años de un mismo pluviógrafo darán la posibilidad de realizar estudios confiables acerca del comportamiento de la lluvia y de la influencia del cambio climático.

Trabajos acerca de este importante parámetro para el diseño de obras de ingeniería y para el pronóstico y defensa contra las inundaciones se expondrán en próximas publicaciones.

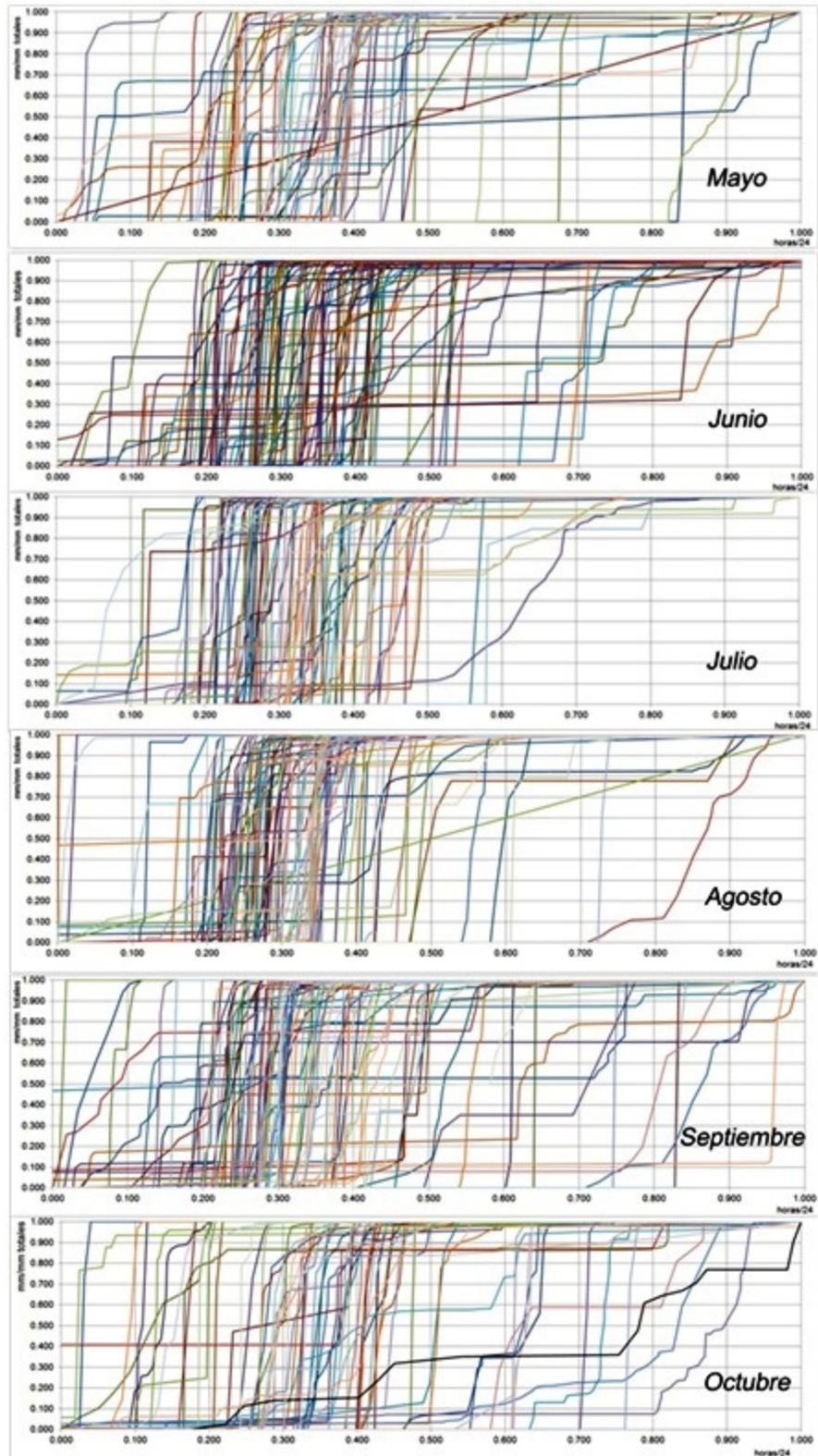


Figura 8. Gráficos adimensionales de las lluvias acumuladas en los meses húmedos

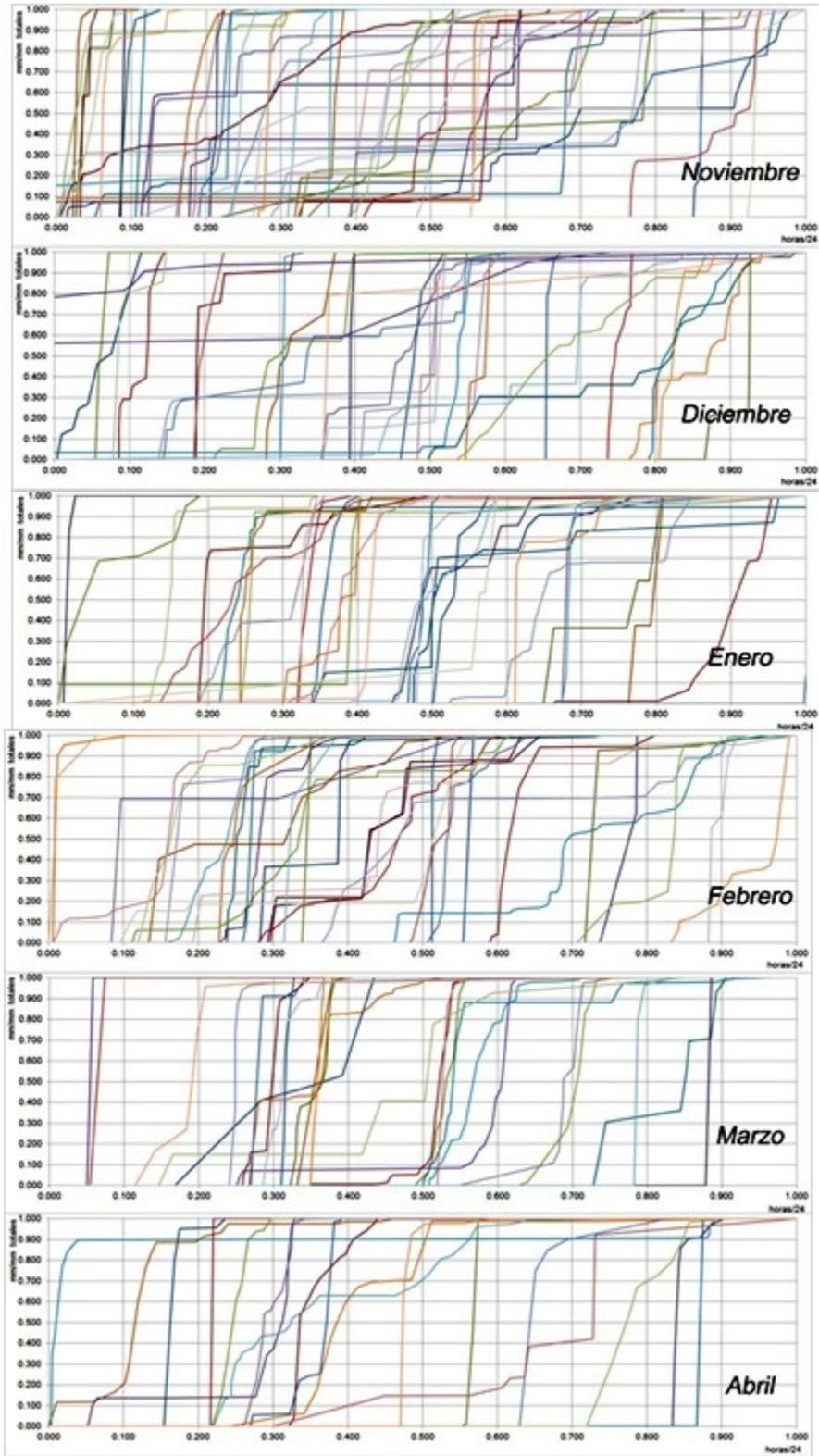


Figura 9. Gráficos adimensionales de las lluvias acumuladas en los meses secos



Figura 10. Información adicional que aparece en cada hoja del Libro del año

CONCLUSIONES

- El trabajo presentado destaca los aspectos más relevantes de los programas confeccionados para el procesamiento automatizado de las cartas pluviográficas o de la información proveniente de pluviógrafos con almacenamiento de la información en formato digital.
- El empleo de esta propuesta permite, en poco tiempo, el procesamiento de las cartas almacenadas para de esta forma contar con nuevas informaciones que enriquezcan los datos históricos sobre el comportamiento de la lluvia en el país.
- Al procesar la información en el caso de estudio se obtuvo, para cada una de los 735 días con lluvia que ocurrieron en los años analizados, la curva de masa y su hietograma, la curvas de masa normalizada cada una hora y su hietograma normalizado y todo el pos-procesamiento de cada año y de todos los años en los que se contó con la información.
- Al analizar el comportamiento de las lluvias se apreciaron intervalos de tiempo para los diferentes meses del año (más definidos en el periodo húmedo) que exponen un comportamiento muy semejante en los once años analizados. Los intervalos de tiempo donde predominan las lluvias demuestran que, antes del anochecer, se presentan lluvias intensas y de muy corta duración por lo que ocurren significativos volúmenes de precipitación en poco tiempo.
- Con la digitalización de las cartas pluviográficas y su pos-procesamiento se puede disponer de información importante para obtener patrones de comportamiento de las tormentas que amenazan un territorio, lo que de forma manual sería muy difícil de alcanzar.

RECOMENDACIONES

Hay que profundizar, con nuevas versiones del programa, en la obtención de información que permita un estudio más amplio del comportamiento de las intensidades.

Es necesario ampliar la búsqueda de cartas pluviográficas que permitan completar este estudio y otros semejantes para otras estaciones pluviográficas, fundamentalmente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos que cuenta con muchos años de información almacenada sin procesar.

RECONOCIMIENTO

Especial reconocimiento a los especialistas del Departamento de Clima del INSMET por la colaboración brindada para este trabajo y sus valiosos consejos para el feliz término del mismo. Sirva este reconocimiento también para ratificar, una vez más, que en la unión desinteresada de las instituciones en el empeño de lograr un objetivo radica la mayor fortaleza de nuestro país.

Es de destacar la colaboración del Dr. Norberto Marrero, especialista del CIH, quien en todo momento ha estado disponible para brindar sus valiosos consejos y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Andalia G.** (2012). “Estudio del comportamiento del pluviógrafo cubano de balancín con registrador electrónico”, Tesis de Diploma en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Delgado A. y Portal A.** (2008). “Automatización del pluviógrafo P2”, Tesis en opción al título de Ingeniero Electrónico, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Legón Y.** (2013), “Generación de patrones del comportamiento de las tormentas. Caso de estudio: Cuenca San Pedro, Ciudad de Camagüey”. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- León A., Rodríguez Y. y Marrero N.** (2009). “Digitalización y procesamiento automatizado para cartas pluviográficas”. IX Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica, Unión Nacional de Ingenieros y Arquitectos de la Construcción, Villa Clara, Cuba.
- León A., Hernández A., Garrido M. y Andalia A.** (2013). “Captación de lluvia con pluviógrafos de cubeta y su pos-procesamiento”. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 34, no. 2, pág. 73-87, CIH, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Rodríguez A.** (2009). “Procesamiento automatizado de cartas pluviográficas”. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Valdés L.** (2014). “Generación de patrones del comportamiento de las tormentas”. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.