



<https://eqrcode.co/a/ldry7j>

ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de las lluvias críticas en áreas de la Empresa Agropecuaria Jiguaní, provincia Granma

Analysis of critical rains in areas of the Jiguaní Agricultural Company, Granma province

Ing. Michel Díaz-Arias^I, Dr.C. Alberto Méndez-Jocik^{II}, Dr.C. Julián Herrera-Puebla^{III}

^I Escuela Provincial de Capacitación, MINAG, Bayamo, Granma, Cuba.

^{II} Empresa de Proyectos e Ingeniería (ENPA), La Habana, Cuba,

^{III} Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba

RESUMEN. Los problemas de exceso de humedad en las áreas agrícolas en Cuba se deben a la combinación de lluvias en exceso, superficies con poca pendiente y suelos de baja infiltración, por lo que las soluciones a este problema se encaminan preferiblemente al drenaje superficial. Con vistas a lo anterior el presente trabajo estuvo dirigido a la determinación de las lluvias de diseño para un sistema de drenaje para el cultivo de cítricos a desarrollar sobre suelos aluviales en áreas del Municipio Jiguaní en la Provincia de Granma; donde los acumulados anuales medios de lluvias alcanzan 1219 mm y el mes más lluvioso resulta el mes de octubre, se estudiaron un total de 213 y mediante el método de Thielsen se seleccionó el más representativo de la zona en estudio, a partir de 27 años de observaciones diarias del mismo que se agruparon en períodos de lluvias máximas de 1,2,3,4 y 5 días y con el fin de generar las curvas de altura-duración-frecuencia y se utilizó la distribución Gumbel Tipo I para obtener la lluvia de diseño para el cálculo del escurrimiento para periodos de retorno de 3, 5 y 10 años. Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov se comprobó la veracidad de la distribución de Gumbel con un 95% de confianza para los datos empleados; mientras que se determinó que la lluvia crítica para el cálculo del escurrimiento a evacuar fue de 126,1 mm para un período de retorno de cinco años y tres días consecutivos de precipitaciones.

Palabras clave: drenaje superficial, intensidad de la lluvia, distribución Gumbel.

ABSTRACT. The problems of excess humidity in agricultural areas in Cuba are due to the combination of excessive rainfall, surfaces with little slope and soils with low infiltration, so the solutions to this problem are preferably directed to surface drainage. With a view to the above, the present work was directed to the determination of the design rains for a drainage system for the cultivation of citrus to develop on alluvial soils in areas of the Jiguaní Municipality in the Province of Granma; where the accumulated average annual rainfall reaches 1219 mm and the wettest month is the month of October, a total of 213 were studied and through the Thielsen method the most representative of the area under study was selected, from 27 years of Daily observations of the same that were grouped in periods of maximum rainfall of 1,2,3,4 and 5 days and in order to generate the height-duration-frequency curves and the Gumbel Type I distribution was used to obtain the rainfall of design for the calculation of runoff for return periods of 3, 5 and 10 years. By applying the Kolmogorov-Smirnov test, the veracity of the Gumbel distribution was verified with 95% confidence for the data used; while it was determined that the critical rainfall for the calculation of the runoff to be evacuated was 126.1 mm for a return period of five years and three consecutive days of rainfall.

Keywords: Surface Drainage, Rainfall Intensity, Gumbel Distribution.

INTRODUCCIÓN

En Cuba, la mayor parte de los problemas de mal drenaje se deben a la combinación de lluvias en exceso, superficies con poca pendiente y suelos de baja infiltración Herrera *et al.*

(2011), por lo que en condiciones como estas se impone el uso del drenaje superficial, bien como una labor agrotécnica más (subsolación, alisamiento, etcétera.) o por el modelado del

*Autor para correspondencia: Michel Díaz-Arias, e-mail: granma@unaicc.co.cu ORCID: iD: <https://orcid.org/0000-0002-0038-066X>

Recibido: 16/11/2020.

Aprobado: 23/07/2021.

campo para la evacuación del agua en exceso con la velocidad requerida por el cultivo.

Para el diseño de un sistema de drenaje agrícola se consideran 3 etapas, el diseño agronómico, donde enfatiza en la respuesta al exceso de humedad del cultivo a desarrollar en el área a drenar, el diseño hidrológico, en el cual se determina el escurrimiento que provoca la lluvia caída, principalmente las lluvias extremas y finalmente el diseño hidráulico que combina los resultados de las otras dos etapas para calcular la capacidad demandada del sistema a construir (Herrera *et al.*, 2016).

El fin del diseño hidrológico es obtener el valor del escurrimiento máximo que puede provocar el exceso de humedad en el suelo, y el mismo se basa en la obtención de la llamada "lluvia de diseño" que provoca este escurrimiento.

Para obtener la lluvia de diseño se utilizan diversas distribuciones estadísticas a partir de una serie de datos de lluvia máximas de un período de retorno determinado en función del valor económico del cultivo a drenar. La norma cubana NC 48-35 (1984) recomienda para el cálculo de la lluvia de diseño máxima diaria varias distribuciones, entre ellas, la distribución binomial (Pearson III), la distribución log normal (bi-paramétrica), la distribución logarítmica normal (método grafo analítico), distribución Gamma Tri-paramétrica (Kritski. Mendel), distribución tipo exponencial (Gumbel), siendo esta última la recomendada por varios autores, entre otros Salgado (2000); Van der Molen *et al.* (2007); Trezza (2020).

Basado en esta última distribución, el presente trabajo se situó como objetivo el cálculo de la lluvia crítica de diseño para la determinación del escurrimiento probable a evacuar en áreas potenciales para la siembra de cítricos en la provincia de Granma, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del área de estudio

La zona de estudio se ubica en el municipio de Jiguaní provincia Granma en la subcuenca Yaya-Jatía, bien definida por el norte con el Río Cauto, por el Sur la zona conocida como Laguna Grande y al Este y Oeste entre las comunidades "La Yaya" y "La Jatía" respectivamente entre las coordenadas geográficas 20° 30' 25" y 20° 33' 9,53" de latitud Norte y los 76° 17' 53" y 76° 22' 38" de longitud Oeste del Sistema Cuba Sur.

El relieve es en general llano e indica la existencia de un drenaje natural pobre de Norte a Sur que descarga a la llamada zona baja conocida como Laguna Grande con un movimiento superficial de las aguas con bajas velocidades debido a la poca pendiente.

Los suelos del área, según el mapa Básico 1:25000 de la Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes de Granma elaborado de acuerdo con la Segunda Clasificación Genética de los suelos de Cuba Minag-Cuba (2019), son del tipo Aluvial, los que se caracterizan por un horizonte superficial loamoso, seguido de horizontes arcillosos, los horizontes genéticos de los mismos, morfológicamente no están bien manifestados y en general los mismos poseen un color uniforme. En algunos casos se observa estratificación relacionada con los sedimentos aluviales. a pesar de su característica loamosa en superficie, la existencia de horizontes arcillosos subyacentes en combinación con el relieve llano, provocan que los mismos sufran exceso de humedad en condiciones de lluvias excesivas y por tanto requieran de medidas de drenaje para un óptimo desarrollo de los cultivos en la temporada lluviosa

Los valores de profundidad de los niveles estáticos del manto freático promedios de la zona oscilan entre los 5 a 10 m de profundidad según Sánchez *et al.* (2013) en los últimos 6 años (2011-2016) oscilaron entre 8,68 y 11,47m, valores estos que no representan peligro para ningún cultivo.

Características climáticas de la zona

En la provincia Granma, según el nuevo mapa isoyético nacional Rodríguez (2006), los acumulados anuales medios de las lluvias alcanzan los 1219 mm. Las magnitudes de sus acumulados mensuales reflejan una marcada estacionalidad, con un período estacional lluvioso de mayo a octubre, que acumula el 77% del total anual y un período poco lluvioso de noviembre a abril, el cual acumula el 23% restante. Los meses más secos son diciembre y enero y los más lluviosos son octubre y mayo. El acumulado extremo mensual máximo se produjo en octubre de 1963 con 778 mm y el extremo mensual mínimo en abril de 1968 cuando solo se acumularon 2 mm.

La Tabla 1 muestra las características climáticas medias anuales de la zona, donde se puede apreciar que en el territorio existen condiciones propicias para el desarrollo de los procesos de desertificación y sequía entre los que se encuentran una alta radiación solar y alta velocidad del viento.

TABLA 1. Valor de las variables climáticas de la zona de estudio

Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Humedad Relativa %	Velocidad del viento m/s	Insolación Horas/día	ETo (mm/año)
30.6	18.6	78.5	2.5	/.5	1638

Análisis de las series de lluvias

Con el fin de identificar las estaciones con mayor representatividad sobre el área de estudio se recopilaron los datos de lluvias de las 213 estaciones pluviométricas de la provincia de Granma (Figura 1). Se determinó el área de influencia de cada una de las estaciones por medio del método determinístico de los Polígonos de Thiessen. El pronóstico del valor regionalizado tiene en cuenta la media ponderada de los valores observados regionalizados en cada polígono, esta operación se realizó a través del software ILWIS Versión 4 (ILWIS 3.4, 2007).

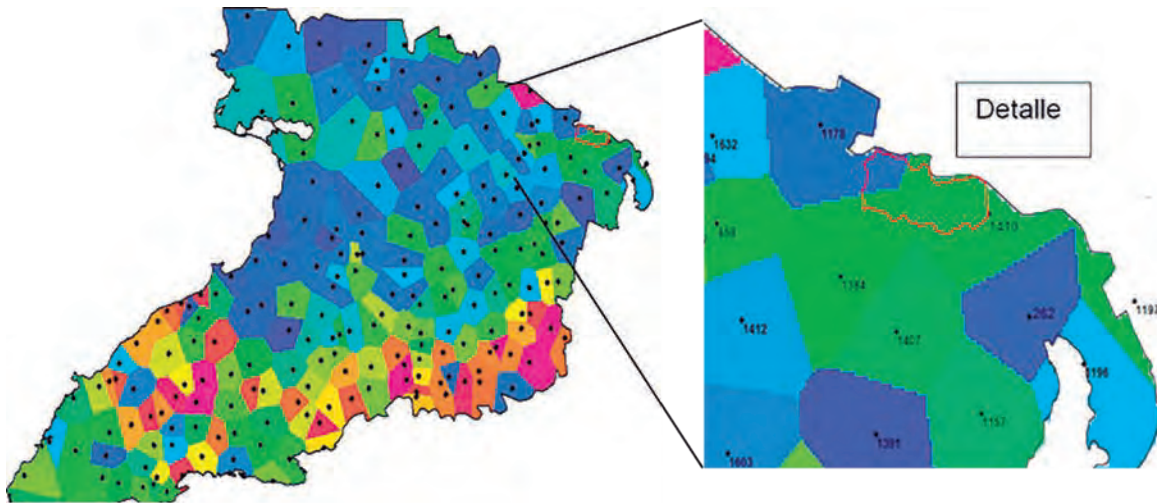


FIGURA 1. Análisis de los Polígonos de Thiessen en la provincia de Granma.

Del análisis anterior, resultó la selección del pluviómetro 1410 Santa Úrsula, de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (INRH) de la Provincia de Granma, situado en las coordenadas rectangulares 202,0 Norte y 558,0 Este a 40 m sobre el nivel medio del mar del cual se definió una escala temporal o periodo de estudio correspondiente a 27 años (01 de enero de 1992 al 31 de diciembre de 2018), del cual se procesaron un total de 9 861 días con mediciones diarias de precipitaciones y se determinaron las lluvias máximas ocurridas en 1, 2 y 3, 4 y 5 días consecutivos.

Con el fin de generar las curvas de altura-duración-frecuencia y obtener la lluvia de diseño para el cálculo del escurrimiento para periodos de retorno de 3, 5 y 10 años, se utilizó la distribución Gumbel Tipo I, el cual al utilizar el método analítico tiene la siguiente expresión (Millán, 2000, citado por (Herrera *et al.*, 2011a).c

$$P(X < X_m) = e^{-e^{-\alpha(y-\beta)}} \quad F(X) = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad (1)$$

donde:

$P(X < X_m)$ probabilidad de que ocurra un evento menor a X_m
 e base de los logaritmos neperianos
 y dato de precipitación en mm

Los valores de α y β se determinan a través de:

$$\alpha = \frac{1.281}{S_y} \quad (2)$$

$$\beta = Y_m - (0.4506 * S_y) \quad (3)$$

donde:

Y: lluvia en mm

S_y desviación estándar de la muestra de datos de y

Y_m valor medio de y

La desviación estándar de la muestra de datos S_y

$$S_y = \left[\frac{1}{n} \sum y^2 - n * Y_m^2 \right]^{0.5} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

De acuerdo a lo anterior el procedimiento seguido fue el siguiente:

Se ordenaron los datos de lluvias de 1, 2, 3, 4 y 5 días en orden decreciente.

Para cada serie se determinó la probabilidad de que ocurriera un evento menor para cada dato de precipitación, a través de la distribución empírica determinada por la ecuación (5)

$$P(X < X_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Se determinó la probabilidad de que ocurra un evento menor a través de la distribución teórica expresada en la ecuación (1).

Se realizó la prueba de bondad de ajuste, la cual consistió en buscar la máxima diferencia entre la distribución empírica (ecuación 5) y la teórica (ecuación 1) lo que define la variación máxima Δ_{max} . Esta diferencia se comparó con el valor crítico Δ_c del estadístico Smirnov-Kolmogorov (Tabla 2) Para que se cumpla el ajuste, se debe verificar que $\Delta_{max} < \Delta_c$ donde Δ_c se obtuvo de la Tabla 2 con $N = 27$ y un valor de probabilidad de 0.05.

TABLA 2. Valor crítico Δ_c del estadístico de Smirnov-Kolmogorov para varios valores de N y los valores corrientemente usados en hidrología, tomado de Trezza (2020)

N	Probabilidad (α)			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$N > 50$	$1.07/N^{0.5}$	$1.22/N^{0.5}$	$1.36/N^{0.5}$	$1.63/N^{0.5}$

Obtenida la ecuación de ajuste, se determinó la precipitación máxima para los periodos de retorno considerado resolviendo la variable y de la ecuación (6)

$$y = \beta - \frac{\text{Ln}\left(-\text{Ln}\left(1 - \frac{1}{t}\right)\right)}{a} \quad (6)$$

$$X = \mu - \frac{\text{Ln}(-\text{Ln}(F(X)))}{d} \quad (6)$$

Este análisis de frecuencia también se puede realizar de forma gráfica, analítica según Salgado (2000) o por medio de programas de cómputo (Van der Molen *et al.*, 2007).

Según Van der Molen *et al.* (2007), los valores extremos de lluvia esperados se calculan para períodos de retorno de 2 a 10 años para la agricultura. Este valor de lluvia. El tiempo

para drenar los excesos de agua en los campos depende de la importancia económica de los cultivos a proteger y su resistencia a la inundación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra la distribución de la lluvia mensual para el período estudiado. Como puede observarse en la misma, los meses de mayores lluvias ocurren desde mayo a octubre

El cálculo de la lluvia mensual para determinar cuál sería el mes de máxima precipitación para cada año, presentó como resultado que el mes de mayor precipitación promedio fue octubre (130 mm) para un total en la estación lluviosa de 687 mm.

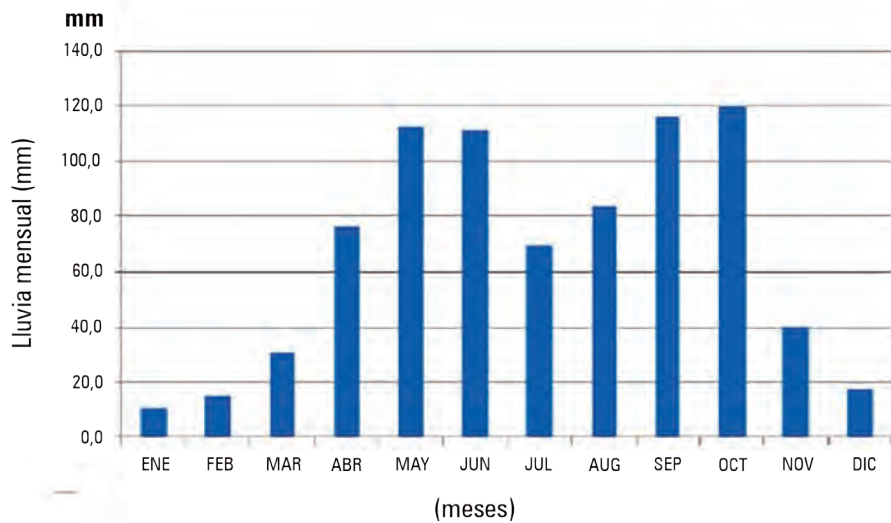


FIGURA 2. Lluvia promedio mensual pluviómetro 1410.

La Figura 3, muestra el balance entre las lluvias mensuales y la evapotranspiración de referencia calculada mediante la ecuación de Penman- Monteith según recomiendan Allen *et al.* (2006).

Como puede observarse en la figura, el balance ETo-lluvias es desfavorable a esta durante casi todos los meses, excepto el mes de octubre, donde las lluvias superan la ETo, indicando con ello la necesidad de drenaje,

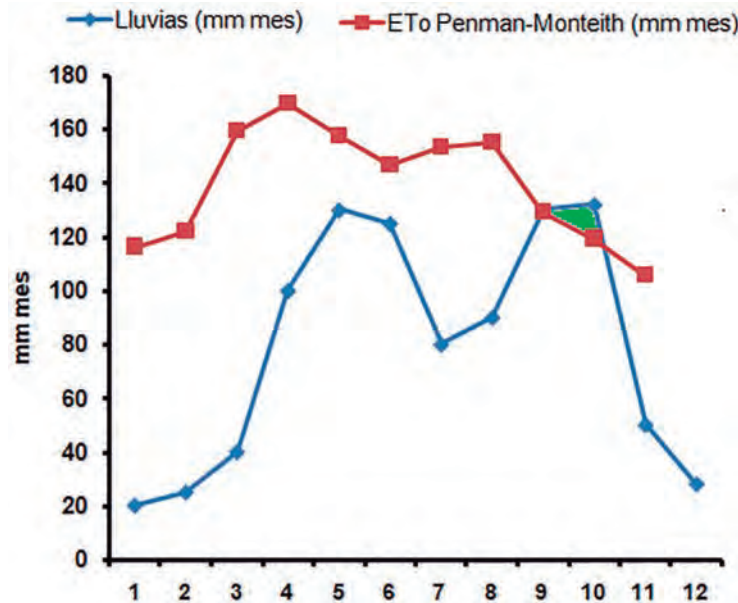


FIGURA 3. Balance lluvias ETo en la zona de estudio.

La Tabla 3 muestra los parámetros obtenidos para el cálculo de la precipitación máxima de diseño, según el valor obtenido de la Δ_c obtenido a partir de la interpolación en la Tabla 2 con $N=27$ y probabilidad de 0,05 fue de 0,26, por lo que de acuerdo a los valores de Δ_{max} mostrados en la Tabla 3 y utilizando el test de Smirnov-Kolmogorov, prueba la bondad de ajuste de la distribución de Gumbel utilizada, al cumplir en todos los caso $\Delta_{pmax} < \Delta_{critico}$.

Como se señaló con anterioridad, a partir del agrupamiento de la lluvia ocurrida en 1, 2, 3 4 y 5 días consecutivos se obtuvieron los parámetros reflejados en la Tabla 3, luego de lo cual y utilizando la ecuación (6), para períodos de retorno de 3, 5 y 10 años se elaboró la Figura 4.

TABLA 3. Parámetros para el cálculo de la Precipitación máxima para diferentes períodos de retorno

Días	Media (mm)	Desviación estándar (sy)	β	Δ_{max}	
1	64,9	26,5	0,048	52,952	0,103
2	88,3	33,0	0,039	73,448	0,156
3	99,1	37,4	0,034	82,287	0,112
4	108,4	38,7	0,033	90,942	0,152
5	115,5	39,5	0,032	97,764	0,118

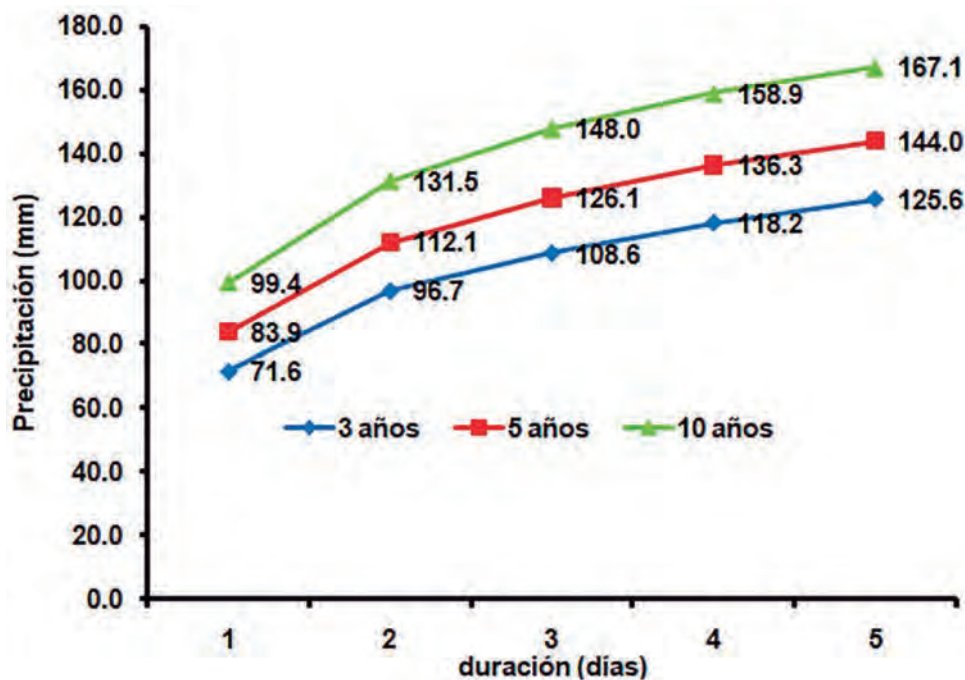


FIGURA 4. Lluvias 1-5 días consecutivos y períodos de retorno de dos (3), cinco (5) y diez (10) años.

Según la Empresa de Proyectos Agropecuarios de la Provincia de Granma (ENPA Granma, comunicación personal), el área será dedicada a la producción de cítricos. Según la Norma cubana "Modulo de drenaje agrícola". Método de cálculo" NC 53-118. (1985) el tiempo de drenaje recomendado para el cultivo de cítricos es de 1 440 a 4 320 minutos (1 a 3 días), mientras que Van der Molen *et al.* (2007), indican que para el drenaje agrícola un período de retorno de 2 a 10 años; donde se considera dos (2) a cinco (5) años para el drenaje de campo e incluso 10 años para sistemas de cultivo con alto costo; y 5 a 10 años para el sistema principal siempre y cuando el mismo no afecte lugares habitados. Por su parte Vigeo (2000), indicó que la selección del período de retorno está ligada a un análisis económico-social, y enfatizó que para el caso del drenaje agrícola, la selección del período de retorno depende de la importancia económica del cultivo y varía en períodos de 2 a 20 años.

Teniendo en cuenta los criterios anteriores, y dado la importancia de la sostenibilidad del cultivo para la zona, así como su importancia en el desarrollo agrícola de la provincia parece indicado la selección de un período de retorno de las lluvias de cinco (5) años y duración de tres (3) días para una lluvia máxima de diseño de 126,37 mm. acorde con los datos mostrados en la Figura 4

Lo anterior permitiría que el costo del sistema de drenaje, manteniendo una adecuada eficiencia, se minimice, ya que entre menor sea el período de retorno mayor es la red de canales de drenaje, más mantenimientos habría que dar a los mismos aumentando el costo, menor área cultivable y se corre el riesgo de evacuar agua de riego que ascenderían por capilaridad y que podría satisfacer parte de las necesidades hídricas del cultivo. Por el contrario si el período de retorno es de muchos años, la red de canales de drenaje tiene mayor espaciamiento, es menos

Díaz-Arias *et al.*: Análisis de las lluvias críticas en áreas de la Empresa Agropecuaria Jiguaní, provincia Granma

costosa pero se corre el riesgo de que en un evento extremo no se remueva el agua en exceso oportunamente y se produzcan pérdidas en los rendimientos, además de las afectaciones propias al suelo (Salgado, 2000; SCS, now NRCS, 1972).

CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado puede concluirse que:

- El mes más lluvioso de los 23 años de registro diario de lluvias de la estación escogida fue octubre.

- En el caso analizado se ha comprobado que la muestra seleccionada para el análisis de las precipitaciones se ajustó a la función de distribución de Gumbel con un 95% de confianza según el test de bondad de Kolmogorv-Smirnov.
- Considerando los tiempos de drenaje del cultivo y las curvas de altura-duración-frecuencia la lluvia crítica que no afectaría el rendimiento potencial de los cítricos en esta área a evacuar para un período de retorno de cinco años y tres días consecutivos de precipitaciones es de 126,1 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, G.R.; PEREIRA, S.L.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO, Estudio FAO Riego y Drenaje 56 ed., vol. 56, pp. 300, ISBN-92-5-304219-2, Roma, Italia, 2006.
- HERRERA, P.J.; DUARTE, D.C.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.: "Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, e-ISSN: 2227-8761, 6(2): 3-7, 2016.
- HERRERA, P.J.; PUJOL, O.; REYES, F.J.; CID, L.G.; LÓPEZ, G.: *Drenaje Superficial*, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, 71pp., La Habana, Cuba, 2011a.
- HERRERA, P.J.; PUJOL, O.R.; CID, L.G.; MÉNDEZ, M.; ALARCÓN, R.: "Problemas del drenaje agrícola en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, e-ISSN: 2227-8761, 1(1): 21-32, 2011b.
- ILWIS 3.4: *Integrated Land and Water Information System*, International Institute for GeoInformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede, Holanda, 2007.
- MINAG-CUBA: *Solicitud de estudio de suelo solicitado por la empresa de proyectos y consultoría ENPA para ser utilizado en los proyectos de las máquinas de Pivote Central en la empresa agropecuaria Jiguaní*, Ministerio de Agricultura (MINAG), Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes (DGSF) Granma, Jiguaní, Granma, Cuba, 2019.
- NC 48-35: *Determinación de la lluvia máxima diaria.*, Oficina Nacional de Normalización (NC), 30pp., La Habana, Cuba, 1984.
- NC 53-118: *Elaboración de proyectos de construcción. Módulo de drenaje agrícola. Método de cálculo*, Comité Estatal de Normalización, La Habana, Cuba, 1985.
- RODRÍGUEZ, R.: "Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba Mapa Isoyético para el período 1961-2000", *Voluntad Hidráulica*, ISSN-0505-9461, 44(98): 2-14, 2006.
- SALGADO, L.: *Criterios de drenaje, Curso de formulación de proyectos de drenaje para la ley N° 18.450. Osorno. 12-30 junio, 2000*, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Remehue., 45pp., Osorno., 2000.
- SÁNCHEZ, S.Y.; DE MIGUEL, F.C.; ALEMÁN, S.B.: "Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto, Cuba", *Minería y Geología*, ISSN-1993-8012, 29(2): 16-34, 2013.
- SCS, NOW NRCS: *National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology*, Ed. U. S. Department of Agriculture, vol. Soil Conservation Service (SCS, now NRCS), Washington, D. C., USA, 1972.
- TREZZA, R.: *Drenaje Agrícola- Determinación de Lluvias máximas, [en línea] 2020, Disponible en: <https://docplayer.es/80060775-Drenaje-agricola>*
- VAN DER MOLEN, W.H.; BELTRÁN, M.J.; OCHS, W.J.: *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*, Ed. Food & Agriculture Org. FAO, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 62 ed., vol. 62, ISBN-978-92-5-105670-7, Roma, Italy, 2007.
- VIGO, R.R.: *Drenaje Agrícola*, Ed. Editorial Félix Varela, primera ed., La Habana, Cuba, 2000.

Michel Díaz-Arias, Investigador, Escuela Provincial de Capacitación, MINAG Bayamo, Granma, Cuba,

e-mail: granma@unaicc.co.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0038-066X>

Alberto Méndez-Jocik, Investigador, Empresa de Proyectos e Ingeniería, La Habana, Cuba, Telef. + 537 8847445+53 5 568775 e-mail: espdiringeneria@enpa.minag.cu, joc4263@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7906-8398>

Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: julian.herrera@boyeros.iagricu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1015-6661>

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.