

ARTÍCULO ORIGINAL

Parámetros de diseño del sistema de drenaje superficial en áreas forrajeras

Design Characteristic of a Surface Drainage System in Forage Areas

Ing. José Antonio González-Rodríguez, Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Ing. Yunier Díaz-Pérez

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. La producción de forraje en Cuba es de suma importancia para el consumo de la ganadería bovina, sin embargo, la mayor parte de las mismas están afectadas por problemas de drenaje superficial, lo que provoca disminución en sus rendimientos. La Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita" del municipio Bauta, perteneciente a la provincia de Artemisa, presenta áreas afectadas por el mal drenaje, por ello, se seleccionaron 200 ha del lote forrajero de Chirigota de dicha empresa, donde se diseñó un sistema de drenaje superficial. Para conocer las condiciones del área se llevó a cabo un diagnóstico de la situación del drenaje en la misma, donde se estudiaron las lluvias en el período de 1994 a 2014 y se calculó escurrimiento superficial el módulo de drenaje característico para los forrajes. Las lluvias máximas consecutivas fueron calculadas la distribución exponencial de Gumbel y el método de la Curva Número (CN) Se encontró que la lluvia de diseño fue de 176,11 mm, las que producen un escurrimiento máximo de 160,9 mm. Al utilizar un tiempo de drenaje de 72 horas, se obtuvo un coeficiente de drenaje de 5,96 L/s ha, lo cual produce un caudal de diseño total de 484 L/s. En atención a lo anterior el sistema de drenaje propuesto constará de un canal colector paralelo al vial principal, el cual, debido a los cambios de pendiente en el terreno se dividirá en cuatro tramos; lo cual lo dota de la capacidad suficiente para evacuar los 484 L/s del caudal calculado. En todos los casos, los canales han sido calculados para sobrepasar el gasto a evacuar en un 27%, lo que garantizaría su funcionamiento sin mantenimiento en al menos dos años.

Palabras clave: forrajes, drenaje superficial, Curva Número y sistema de drenaje.

ABSTRACT. Forage production in Cuba is of paramount importance for the consumption of tropical livestock, the areas dedicated to obtaining this food are generally located in soils prone to waterlogging, that caused a decrease in forages yields, particularly in the rainy season. In areas of Niña Bonita " enterprise, in the municipality of Bauta, (Artemisa's province); was selected a 200 ha forage field, in order to carry out an study of drainage needs and a proposal of possible solutions and economic feasibility of drainage solutions visualizes. Rainfall were studied in the period from 1994 to 2014, and surface runoff was calculates using curve number (CN) method. The design rainfall was 176.11 mm, which produce a maximum runoff of 160.9 mm; when using a 72-hour drain time, a drainage coefficient of 5.96 L/s ha was obtained, which produces a total design flow of 484 l/s. In attention to the above the proposed drainage system consists of a collector channel parallel to the main vial, which, due to the changes in slope in the ground was divided into four sections; Having sufficient capacity to evacuate the 484 L/s of the calculated flow rate. In all cases, channels have been calculated to exceed the flow to be evacuated by 27%, it would guarantee their maintenance-free operation in in at least two years.

Keywords: forages, surface drainage, Curve Number.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura cubana el drenaje agrícola es un factor de vital importancia en el desarrollo agrícola, siendo olvidado en muchos casos, debido a su alto costo de ejecución. Existen diferentes tecnologías de drenaje agrícola cada una de ellas se adapta al problema específico que se presenta en cada sitio y

siempre depende de la fuente de exceso de humedad (Becerra, 1999; Salgado, 2000; Van der Molen *et al.*, 2007; Castillo, 2011). 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), citado por Sosa *et al.* (2012), por lo que en condiciones como estas se impone el uso del drenaje superficial.

A pesar de que las gramíneas pratense y forrajeras muestran una relativamente alta resistencia al exceso de humedad en el suelo, su rendimiento puede deprimirse hasta un 25% luego de tres días de inundación (Herrera *et al.*, 2016); este efecto varía con la especie y la época del año y es más notable en especies como el King Grass y en la época del año donde las temperaturas son más altas, la cual coincide también con la de mayores lluvias en todo el territorio nacional.

Para la realización de una obra de drenaje bien concebida se requiere de tres pasos, el diseño agronómico, el diseño hidrológico y el diseño hidráulico (Pizarro, 1978; Rojas, 1991; Salgado, 2000). El diseño agronómico depende de la resistencia de los cultivos al exceso de humedad, lo cual ha sido estudiado en Cuba por diversos investigadores y resumido por Herrera *et al.* (2016), el diseño hidráulico, una vez conocida la cantidad de agua a evacuar, consiste en resolver la dimensión de los canales y su ubicación en el terreno, lo cual no es una tarea difícil. Si se conocen las respuestas del cultivo al exceso de humedad, como es el caso de Cuba (NC 53-138-1985 (1986); Vigoa (2000); Herrera *et al.* (2016), el diseño hidrológico, es tal vez la parte más trabajosa ya que se requiere conocer el escurrimiento que provoca la lluvia caída, principalmente las lluvias extremas. La magnitud de estos eventos está relacionada inversamente con la frecuencia en que ocurren, es decir eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que los eventos hidrológicos moderados (Pizarro, 1978; Salgado, 2000; Rivano, 2004; Sosa *et al.*, 2012).

No obstante lo anterior los beneficios del drenaje no siempre son reconocidos y por ello a menudo es necesario la demostración práctica de los mismos. Con este propósito el Instituto de

Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) de conjunto con la Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita", se dio a la tarea de diseñar a nivel de proyecto el sistema de drenaje superficial en el área forrajera de Chirigota de la Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita".

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el área de Chirigota del municipio Bauta, perteneciente a la provincia de Artemisa para un lote forrajero de 200 ha.

Es común que no se encuentren registros confiables de escurrimientos en el sitio de interés, para determinar los parámetros necesarios del diseño de sistema de drenaje superficial y subterráneo. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en áreas cultivadas, conociendo la topografía, uso de suelo y la precipitación (López, 1995; Becerra, 1999; Gaspari *et al.*, 2007; Ayres, 2015).

Diseño Agronómico

Para el cálculo del módulo de drenaje se utilizaron las recomendaciones de la Norma Cubana "Modulo de drenaje agrícola" NC 53-138-1985 (1986) y Herrera *et al.* (2016), quienes coinciden al afirmar que 3 días en un valor umbral adecuado de comienzo de las afectaciones al rendimiento de estos cultivos en las condiciones cubanas.

Diseño hidrológico

La tabla 1, muestra las características de operación del pluviómetro seleccionado, el cual está instalado desde 1970.

TABLA.1. Datos de localización del pluviómetro utilizado

Nombre	N-control	Código	Norte	Este	Altitud (m)	Año de inicio	Año de cierre
Embalse Niña Bonita	336	Plu020336	358,2	346,6	25	1970	--

Del total de años de lluvias, fue analizada la serie diaria correspondiente al período 1974 al 2014, y con ellas se calculó el escurrimiento superficial utilizando para ello el método de la Curva Número (SCS, U.S., 1973).

Recopilación de la información pluviométrica

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), tiene instalada en la zona de estudio una red pluviométrica de la cual se obtuvieron los datos de las precipitaciones diarias existentes en el área de estudio. Después de seleccionar la estación pluviométrica se procedió a realizar la depuración de la serie de lluvias diarias en busca de datos erróneos, datos faltantes, mediciones alteradas y presencia de lluvias puntuales debido a eventos extremos. Por otra parte se localizaron los datos de lluvia con láminas menores que cinco (5) mm, pues se considera que para lluvias de esta característica no se genera escurrimiento. Excluyendo estas lluvias se obtuvo una nueva serie a la cual se le determinó la media anual para compararla con la media anual de la serie original a fin de

estimar el margen de error con el que trabajaría.

Cálculo de la precipitación máxima

El pluviómetro seleccionado cuenta con una serie de 47 años, de la que solo se trabajó con los últimos 20 años. Con el período analizado se creó una serie con la precipitación diaria de todos los meses y se determinó la lluvia mensual (de 1994-2014). Luego con esta lluvia se analizó cuál sería para cada año el mes de mayor precipitación.

Seguidamente se elaboró una nueva tabla con las lluvias diarias de cada mes de mayor precipitación por año, y a partir de ahí se obtienen los valores máximos de 1, 2, 3, 4 y 5 días consecutivos (Tabla 3)

Obtención de las curvas Altura-Duración-Frecuencia (ADF)

Para realizar el análisis de frecuencia de lluvias máximas de uno (1), dos (2), tres (3), cuatro (4) y cinco (5) días consecu-

tivos de lluvias para un periodo de retorno de cinco (5) años y generar gráficos de (ADF) se utilizó la distribución de Gumbel empleando el método analítico (Kessler y Road, 1978).

Determinación del escurrimiento máximo. Método de la Curva Número (CN)

Para estimar el escurrimiento máximo por evento se empleó el método de la Curva Número SCS, U.S. (1973) el cual utiliza la precipitación máxima de diseño y el máximo potencial de retención del agua del suelo. Los pasos seguidos en la aplicación del método fueron como sigue:

Paso 1: Agrupación hidrológica de los suelos y humedad antecedente. El método cuenta con cuatro grupos de acuerdo a las características texturales del suelo y sus características hidrológicas para producir escurrimiento. Para la clasificación hidrológica del suelo existente en el área se tomaron los valores propuestos para los suelos cubanos por López *et al.* (1998), en el cual el suelo del área clasifica dentro del grupo hidrológico D. El cálculo se realizó para la condiciones de humedad tipo III (húmeda), teniendo en cuenta el análisis de los datos de precipitación.

Paso 2: Condiciones hidrológicas del área de drenaje. Se determinó la condición hidrológica del área de drenaje de acuerdo a la vegetación y densidad de la cobertura del cultivo. En la Tabla 3 y 4, Anexo 4 se muestran las clasificaciones dadas por el SCS.

Paso 3: Número de la Curva. A partir de las condiciones establecidas en los tres pasos anteriores se obtuvo el valor de la Curva Numérica (CN) mediante la tabla 5, Anexo 4, usada por SCS, U.S. (1973), para estimar el escurrimiento de acuerdo al uso del suelo, práctica agrícola, condición hidrológica del área de drenaje y condición hidrológica del suelo (para condición de humedad II, e $I_a = 0.2S$), se obtuvo el valor de la Curva Número (CN) para la condición de humedad antecedente húmeda (tipo III).

Paso 4: Determinación de la infiltración potencial. La infiltración potencial se determinó a partir de la ecuación 1 propuesta por el SCS, que depende del Número de la Curva determinado en el paso anterior.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

donde:

CN: es la curva número (adimensional);

S: es la infiltración potencial (mm).

Paso 5: Determinación del escurrimiento máximo. A partir de la infiltración potencial y el evento de precipitación potencial máximo para un periodo de retorno de 5 años (que es el utilizado en los diseños agrícolas) se determinó el escurrimiento máximo a partir de la ecuación 2

$$Q_{max} = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + (0.8S)}$$

donde:

Q: es el escurrimiento potencial máximo (mm);

P: es el evento de precipitación máximo (mm);

S: es la infiltración potencial (mm).

Cálculo del caudal de diseño

En el cálculo del caudal de diseño utilizando el valor de escurrimiento máximo probable calculado a través del método de la CN, se asume que a medida que el área de la cuenca de drenaje aumenta, el caudal producido, por unidad de área, disminuye por efecto del almacenamiento, pérdidas en la red colectora y el tiempo de concentración y por ello se propone la ecuación 3 SCS, U.S. (1973), que permite obtener el caudal de diseño para la superficie considerada.

$$Q = Cd * A^{\frac{5}{6}}$$

dónde:

Q - caudal de diseño (L/s);

Cd - coeficiente de drenaje (L/s/ha);

A - área a drenar (ha).

Evaluación del posible beneficio del drenaje

Para evaluar el posible beneficio del drenaje en cuanto al incremento del rendimiento, fueron utilizados los resultados obtenidos en la zona en experimentos de riego por Herrera *et al.* (1985) y sobre el efecto del exceso de humedad en las gramíneas forrajeras en otras zonas del país de similar clima y suelo (Herrera *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del diagnóstico. Identificación de los problemas de drenaje

Las observaciones realizadas en perfiles de suelo en el área muestran un horizonte superficial bien estructurado, influenciado por el sistema radicular del forraje y el horizonte subsiguiente, a los 20 cm. compacto con moteado rojo amarillento que indica el estancamiento del agua de lluvia (Figura 1). Según Herrera (2008), citado por Sosa *et al.* (2012), un horizonte subyacente con 10% menos de permeabilidad es índice de probable estancamiento del agua, lo cual en nuestro caso está indicado por la aparición de moteados rojo amarillentos que indican condiciones de reducción del hierro en determinadas épocas del año por la falta de oxígeno que impone el exceso de humedad.



FIGURA 1. Perfil del suelo en el área seleccionada.

Balance lluvias evapotranspiración de referencia (Eto)

La Figura 2 muestra la relación entre las lluvias mensuales y la evapotranspiración de referencia (Eto) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 2006), en la misma es posible observar el exceso de lluvias sobre la Etp en los meses de julio hasta octubre, lo que indica la necesidad de drenaje y también el déficit en la época de seca que muestra la demanda de riego.

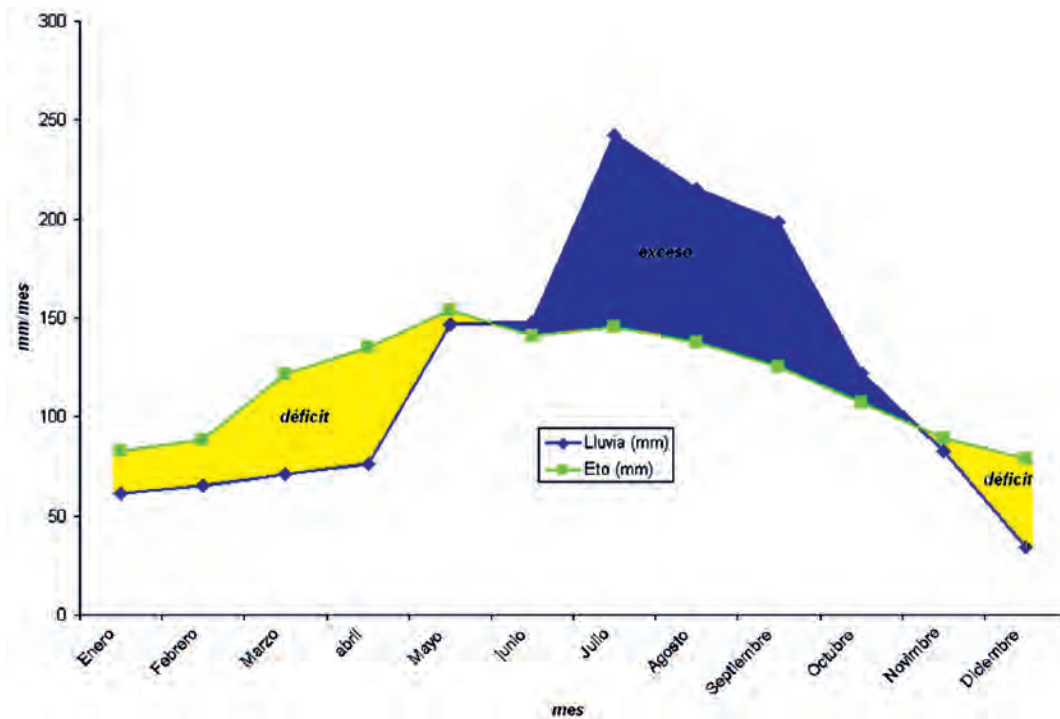


FIGURA 2. Balance entre la lluvia mensual y la Etp en la zona forrajera de San Pedro, Bauta, Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita".

Resultado de la precipitación máxima

El cálculo de la lluvia mensual para determinar cuál sería el mes de máxima precipitación para cada año, arrojó como resultado que el mes de mayor precipitación promedio fue septiembre (Figura 3), mes que también mostro el menor coeficiente

de variación de las lluvias entre años. Al observar la (Figura 2) se puede notar que este mes se encuentra dentro del periodo de máxima demanda de drenaje, lo cual también justifica su selección para el cálculo de la necesidad de drenaje.

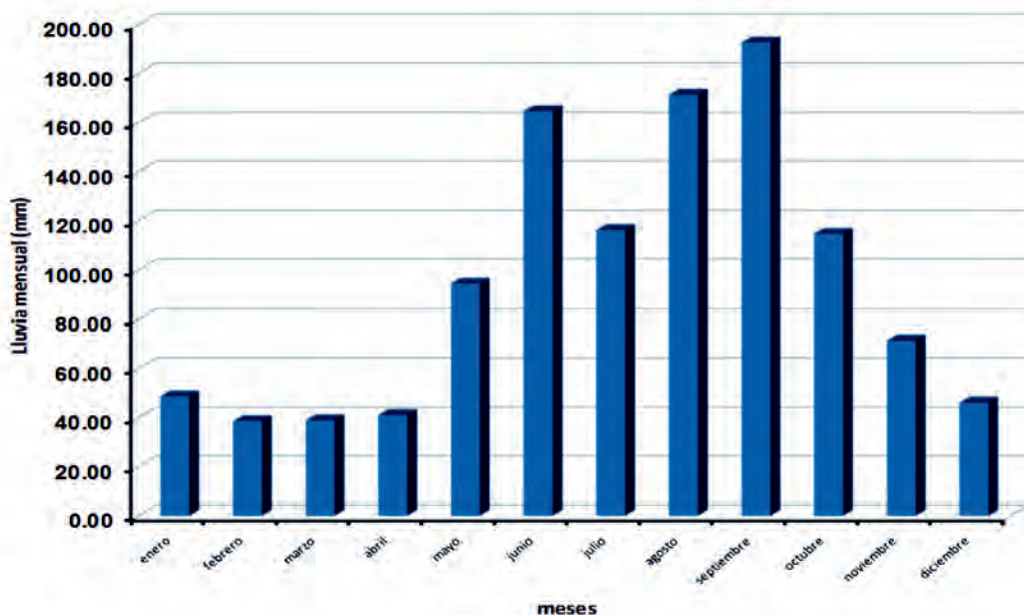


FIGURA 3. Promedios mensuales de lluvia desde 1994 hasta 2014.

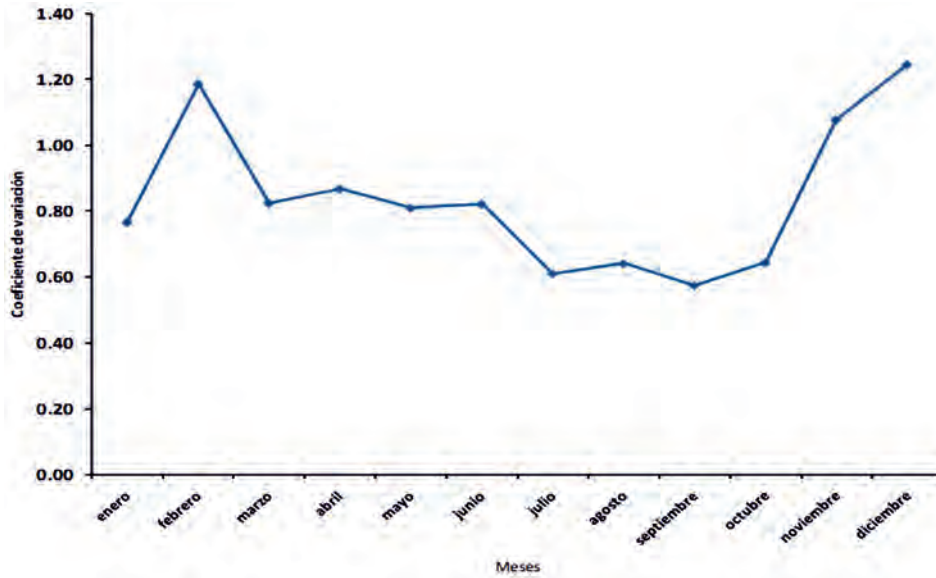


FIGURA 4. Coeficiente de variación de las lluvias mensuales desde 1994 hasta 2014 para el Pluviómetro (INRH Plu020336) Empresa Pecuaria Genética “Niña Bonita”.

Al someter esta selección al test de Smirnov-Kolmogorov para conocer la bondad de ajuste de la probabilidad de Gumbel, se obtuvo que para un periodo de 20 años que la diferencia máxima obtenida con las distribuciones teóricas y empíricas fue de $p_{max} = 0,07526252$, mientras que c , con $N = 20$ y $\alpha = 0,05$ fue de 0,29, por lo tanto se cumple que $p_{max} < c$ es posible aceptar el ajuste.

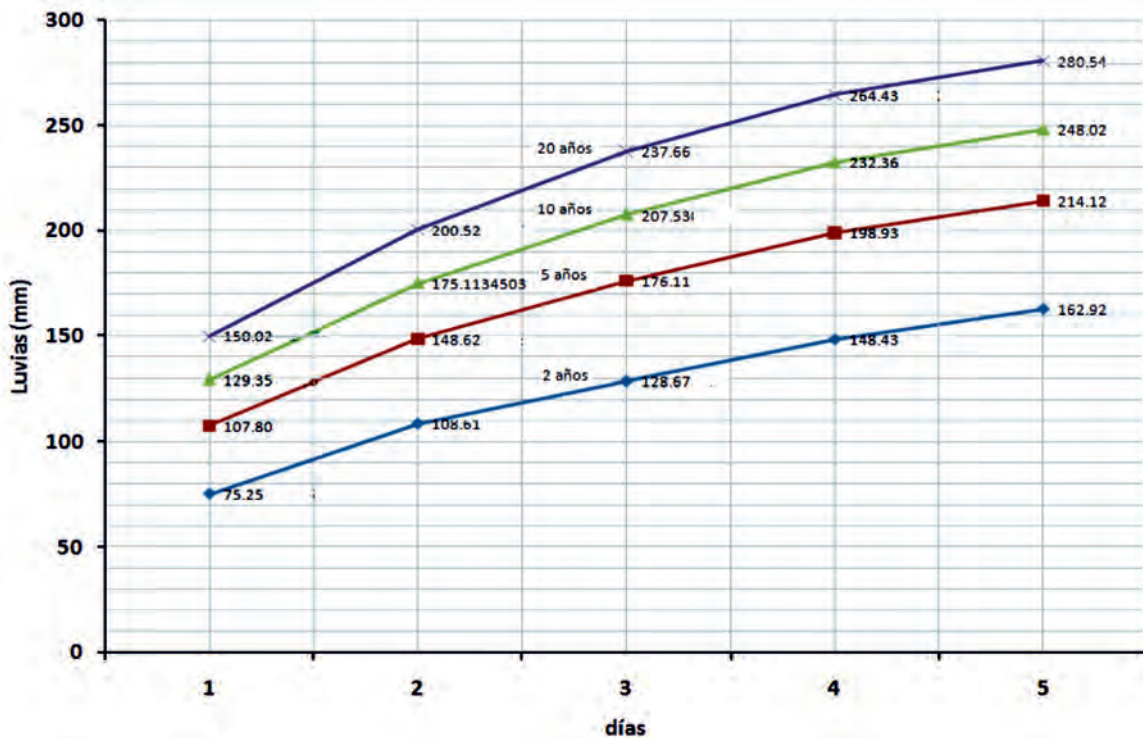


FIGURA 5. Lluvias para periodos de retorno de dos (2), cinco (5), 10 y 20 años para para uno (1) a cinco (5) días.

Resultado de la lluvia de diseño

De la Figura 5 fue seleccionado el período de retorno de las lluvias de cinco (5) años y duración de tres (3) días. El periodo de retorno seleccionado y el número de días con lluvias determinan en gran medida la magnitud del módulo

de drenaje y la capacidad de agua necesaria a evacuar. Según Vigoa (2000), la selección del periodo de retorno está ligada a un análisis económico-social, y para el caso del drenaje agrícola, la selección del periodo de retorno depende de la importancia económica del cultivo y varía en periodos de dos a 20 años. Por su parte Van der Molen *et al.* (2007), indicaron que para el

drenaje agrícola debe considerarse un periodo de retorno de dos a 10 años, donde se considera dos a cinco años para el drenaje de campo e incluso 10 años para sistemas de cultivo con alto costo y cinco años para el sistema principal siempre y cuando el mismo no afecte lugares habitados. Al seleccionar un periodo de retorno de 5 años y una lluvia acumulada de tres días el valor de la lluvia de diseño seleccionada fue de 176,11 mm.

Resultado del cálculo del escurrimiento. Método de la Curva Número

Utilizando el procedimiento descrito se calculó el escurrimiento según el método de la curva número, el cual arrojó un escurrimiento de 160,9 mm para el periodo de retorno considerado. El método de la curva número es ampliamente aplicado y Van der Molen *et al.* (2007), para áreas menores de 800 ha.

En Cuba, no hay definido un método para el cálculo del escurrimiento y según López *et al.* (1998), el más usado es el método racional, sin que haya referencias previas de la validación de este método. Este mismo autor López *et al.* (1998), basado en los estudios de infiltración de los suelos cubanos preparó una clasificación hidrológica de dichos suelos para su uso en la CN, lo cual salva uno de los inconvenientes más señalados al emplear este método en regiones con suelos diferentes a los descritos en la metodología propuesta por el SCS (1973). Por otra parte Vigoa (2000), plantea que cuando se utiliza la Fórmula Racional, es de vital importancia evaluar con la mayor precisión posible el coeficiente de escurrimiento (C), y demuestra mediante estudios realizados en distintos países que el mismo no es constante para las mismas condiciones de suelo, topografía y vegetación,

ya que varía con la magnitud de la lluvia (aumentando en la medida que lo hace ésta); debido a esto expresa la ventaja que posee el Método de la Curva Número ante el Método Racional, al considerar dicha variación. Coras *et al.* (2006), compararon cinco métodos para el cálculo del escurrimiento superficial con vistas a determinar los módulos de drenaje de cinco cultivos y concluyeron que el método de la curva número fue adecuado para diseñar las secciones hidráulicas por considerar aspectos agronómicos, edáficos e hidrológicos del área de estudio, en lo que coincide Suárez (2016), quien utilizó este método para calcular el escurrimiento y definir el módulo de drenaje en un área hortícola sobre suelos Ferralíticos Cuarcíticos en la región occidental de Cuba. Gaspari *et al.* (2007), concluyen en que la gran aceptación del método radica en su simplicidad y en la facilidad de su uso en cuencas con un mínimo de información hidrológica.

Resultado del caudal de diseño

Utilizando la ecuación (1) y un tiempo de drenaje de 72 horas (3 días) y el escurrimiento antes señalado, se obtuvo un coeficiente de drenaje de 5,96 L/s ha. Dado la superficie total a drenar, mayor de 50 ha, se utilizó la ecuación (1), en la cual el área es afectada por una potencia 5/6 (0,83), que recoge el efecto de pequeñas depresiones y otros sitios de almacenamiento del agua antes de llegar al dren. Al utilizar esta ecuación para el área señalada se obtuvo un caudal de diseño tal que demandaría una capacidad en el canal colector de 0.45 m³x seg⁻¹. La tabla 1 muestra los diferentes valores obtenidos en la secuencia de cálculo del caudal de diseño al emplear la CN.

TABLA 1. Valores obtenidos en los diferentes pasos para el cálculo del caudal de diseño

Parámetro	Valor	Observaciones
Lluvia máxima de diseño	176,11	Acumulado de 3 días y periodo de retorno de 5 años
Clase hidrológica de suelos	D	Según López <i>et al.</i> (1998)
CN clase II	78	SCS, U.S. (1973)
CN clase III	91	SCS, U.S. (1973)
S (infiltración potencial)	13,4	mm
Escurrecimiento Potencial	160,9	mm
Tiempo de drenaje	72	horas
Coficiente de drenaje	5,96	L/seg/ha
Caudal de diseño	484	L/seg

Sistema de drenaje propuesto

Las observaciones realizadas en el área de estudio indicaron que no existen problemas de drenaje ocasionados por el ascenso del manto freático, sino que los problemas de sobre humedecimiento del suelo son causados por la existencia de un horizonte casi superficial compacto en el suelo que impide la percolación rápida de la lluvia asociado a una pendiente muy suave e intensas lluvias en el periodo húmedo (mayo–octubre). Esta situación señala la necesidad de diseñar y construir en el área un sistema de drenaje superficial capaz de evacuar los excesos de lluvia y con ello lograr un posible incremento en la producción de forraje.

La Figura 6, muestra un esquema en planta del área estudiada donde se muestra la posible disposición de los drenes para uno de las áreas.

Como puede observarse, el mismo consta de una red interna de canales cuaternarios con taludes suficientemente amplios para permitir el paso fácil de la maquinaria de corte con capacidad de evacuación y secciones transversales como las mostradas en la Figura 7. Estos canales estarían conectados a una red de canales terciarios, que serían los encargados de llevar el agua desde el campo al resto del sistema. La Tabla 2 muestra las características hidráulicas de estos canales.

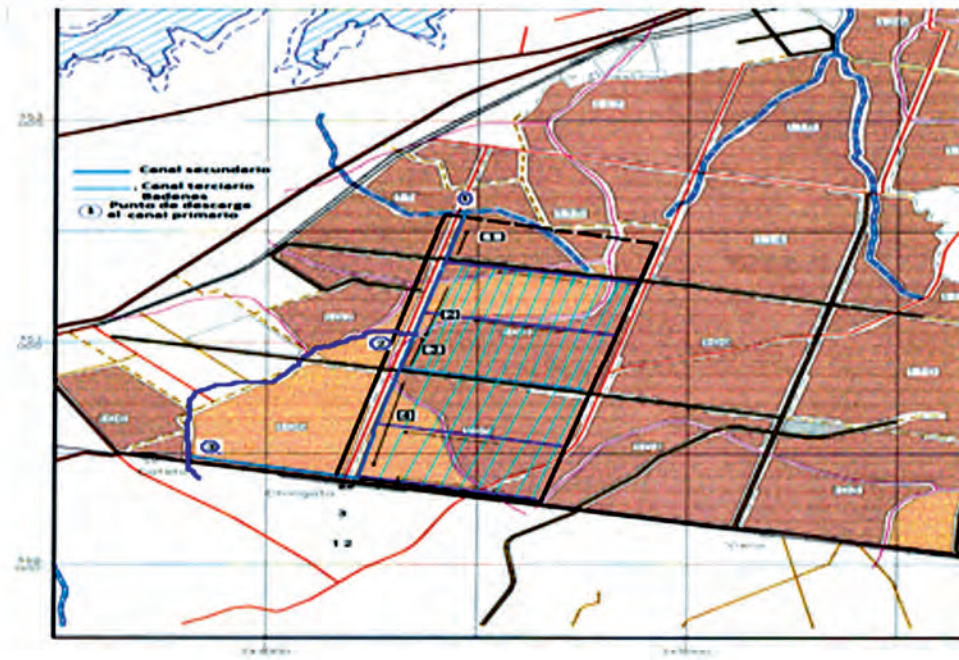


FIGURA 6. Esquema general del diseño del sistema de drenaje.

Esquema hidráulico de los canales

Las secciones transversales de estos canales se muestran en la Figura 8 y las características hidráulicas de los mismos en la Tabla 2.

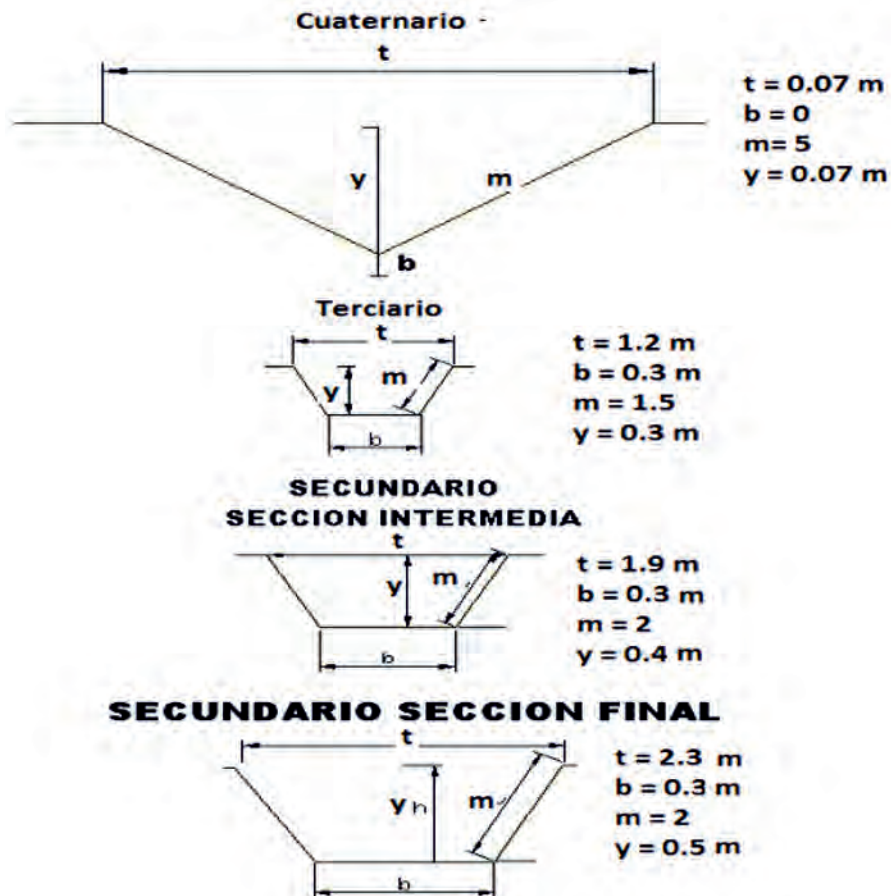


FIGURA 7. Secciones transversales de los canales a construir en el sistema de drenaje.

TABLA 2. Características hidráulicas de los canales de drenaje en el área de Chirigota

Categoría de canal	Parámetros de diseño										
	T (m)	b (m)	m (m)	Y (m)	n	A (m ²)	P (m)	R	S	Q (m ³ /s)	V (m/s)
Cuaternario	0,7	0	5	0,07	0,025	0,0245	0,7	0,0343	0,01	0,0106	0,432
Terciario	1,2	0,3	1,5	0,3	0,025	0,225	2,3	0,0978	0,01	0,1941	0,863
Secundario sección intermedia	1,9	0,3	2	0,4	0,025	0,44	2,3	0,1913	0,01	0,5908	1,343
Secundario sección final	2,3	0,3	2	0,5	0,025	0,65	2,3	0,2826	0,01	1,1292	1,737

t: ancho superior del canal, b: ancho del fondo; m: talud del canal; y profundidad del agua; n coeficiente de rugosidad de Manning; A: área; P: perímetro hidráulico; R: radio hidráulico; Q: gasto (m³ seg⁻¹); V: velocidad (m seg⁻¹).

Incremento potencial de producción producto del drenaje

Acorde con los resultados de Herrera *et al.* (1985) y Herrera *et al.* (2016), quienes encontraron un potencial de producción en primavera para el King Grass de 69 ton MV/ha y asumiendo 40 días de sobre humedecimiento del suelo en el año, (incluyendo el tiempo en que la maquinaria no puede entrar a cortar), existe un riesgo de perder en 1 de cada 4 años el total de la producción de primavera si no se cuenta con un adecuado sistema de drenaje.

La mejor inversión para disponer de una fuente segura de alimento sería contar en el área con un adecuado sistema

de riego y de drenaje; esto permitiría, como indica muestra la Figura 8, obtener un potencial de alimento de 110 t/ha de MV, la inclusión del riego solamente, sin un adecuado sistema de drenaje solo permitiría obtener un 69% del potencial anterior, mientras que si se construye un sistema de drenaje, aun cuando no se realice la inversión de riego, la producción anual sería de 90,5 t MV/ha, o sea el 79% del potencial y un 10% mayor que lo que se obtendría con solo la inversión en riego.

Los elementos anteriores indican la necesidad de un adecuado estudio de los costos de las inversiones para la recuperación del sistema soterrado de riego existente en la zona.

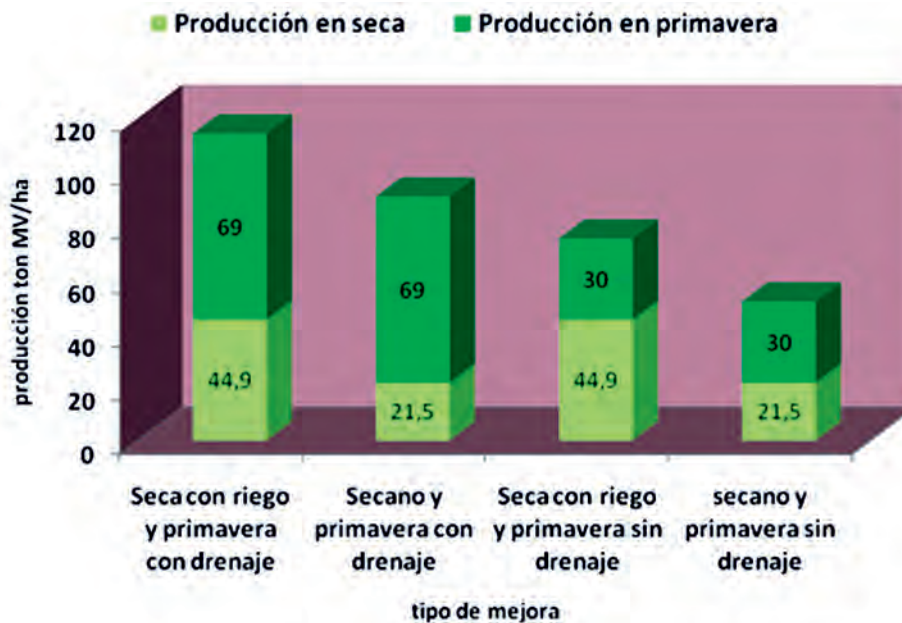


FIGURA 8. Producción potencial anual de forraje de corte bajo diferentes condiciones de riego y drenaje.

CONCLUSIONES

- El método de la Curva Número permitió determinar que el escurrimiento máximo superficial a evacuar para el forraje (King Grass) fue de 176,11 mm para una lluvia máxima de tres (3) días con un periodo de retorno de cinco (5) años.
- Utilizando un tiempo de drenaje de 72 horas (3 días) y el escurrimiento antes señalado, se obtuvo un coeficiente de

drenaje de 5,96 L/s ha.

- En todos los casos, los canales de drenaje han sido calculados para sobrepasar el gasto a evacuar en un 27%, lo cual garantizaría su funcionamiento en buenas condiciones sin mantenimiento en al menos 2 años.
- La construcción de este sistema de drenaje, aun sin inversiones en riego permitiría alcanzar el 79% del potencial anual de este cultivo en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO Riego y Drenaje, Roma, Italy, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- AYRES, Q.C.: “La erosión del suelo y su control.”, 2015.
- BECERRA, A.: *Escorrentía, erosión y conservación de suelo*, Inst. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México, 1999.
- CASTILLO, C.J.D.: “Análisis de viabilidad de suelo estructural en los sistemas de drenajes de ciudades compactas con aplicación a la transformación urbanística de la Marina del Prat Vermell-Barcelona”, 2011.
- CORAS, P.M.; HALHN, F.; DIAKITE, L.; ARTEAGA, R.: “Esguerrimiento Superficial como fuente de excesos de agua sobre terrenos agrícolas tropicales”, *Agricultura Técnica de México*, 32(2): 161-169, 2006.
- GASPARI, J.; SENISTERRA, E.; MARLATS, M.: “Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del Sistema Serrano de La Ventana, Argentina”, *Revista FCA UN Cuyo*, XXXIX(1): 21-28, 2007.
- HERRERA, J.; MARTINEZ, E.; CORONA, L.: “Estudio del régimen de riego del King grass. I. Efecto sobre el rendimiento”, *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 2(2): 17-33, 1985, ISSN: 0138-8487.
- 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*, 6(2): 3-7, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- KESSLER, J.; ROAD, J.: *Análisis de los datos pluviométricos*, Ed. ILRI, estudios e investigaciones ed., vol. III, Wageningen, Holanda, 16-57 p., 1978.
- LÓPEZ, G.: “Estimación del esguerrimiento superficial en una cuenca llana con vistas al cálculo de la capacidad de drenaje”, *Ingeniería hidráulica*, 16(2/3): 48-53, 1995, ISSN: 0186-4076.
- LÓPEZ, G.; HERRERA, J.; CASTELLANOS, A.: “Agrupamiento de los suelos cubanos en clases hidrológicas para el cálculo del esguerrimiento mediante el método de la curva número”, *Ingeniería Hidráulica*, XIX(4): 22-26, 1998, ISSN: 0186-4076.
- NC 53-138-1985: *Módulo de drenaje agrícola, método de cálculo*, Inst. Comité Estatal de Normalización (CEN), 1986.
- PIZARRO, F.: *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*, Inst. Madrid Agrícola Española 197521, 1978.
- RIVANO, F.: *Análisis de eventos extremos de precipitación y su efecto en el diseño de drenaje superficial de tierras agrícolas del sur de Chile*, Inst. Universidad Austral de Chile, Fac. Cien. Agrar., Valdivia, Chile, 2004.
- ROJAS, R.: *Diseño de drenaje superficial*, ser. serie riego y drenaje rd-39, Inst. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDAT), editorial drenaje de tierras agrícolas, Mérida, Venezuela, 285-317 p., 1991.
- SALGADO, L.: *Manual de estándares técnicos y económicos para obras de drenaje.*, Inst. Ministerio de Agricultura. Comisión Nacional de Riego, Chile, 2000.
- SCS, U.S.: *A method for Estimating Volume and Rate of Runoff in small Watershed*, no. 149, Inst. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S., revised edition, USA, 21 p., 1973.
- SOSA, R.A.A.; HERRERA, P.J.; ALARCÓN, L.R.: “Pronóstico del régimen de riego para dos empresas pecuarias de la provincia de Granma”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(1): 28-32, 2012, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- SUÁREZ, T.A.: “Estudio del drenaje superficial en el área de cultivos varios de la UEBA “Sierra Maestra”. Resúmenes del contenido de las tesis de ingeniería dirigidas por investigadores del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGric), en la Facultad de Ingeniería Hidráulica del ISPJAE”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1): 60-64, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- VAN DER MOLEN, W.H.; BELTRÁN, J.M.; OCHS, W.J.: *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*, Ed. Food & Agriculture Org., FAO Irrigation And Drainage Paper ed., vol. 62, Rome, Italy, 2007.
- VIGOA, R.R.: *Drenaje agrícola*, Ed. Félix Varela, La Habana, Cuba, 2000.

Recibido: 29/11/2017.

Aprobado: 06/08/2018.

José Antonio González Rodríguez, Reserva Científica, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Julián Herrera Puebla, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Yunier Díaz Pérez, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Nota: 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.