

# ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA PARA UN CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA (*SELENICEREUS MEGALANTHUS*)

## APPROXIMATION OF FOOT PRINT FOR YELLOW PITAHAYA CROP (*SELENICEREUS MEGALANTHUS*)



**<sup>1</sup>Eliana Alexandra Sánchez Bautista, <sup>2</sup>Jeisson Rene Villarreal Roa  
<sup>3</sup>Jesús Alfonso Torres Ortega**

*Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, Bogotá, DC., Colombia*

<sup>1</sup>abautista08@unisalle.edu.co

<sup>2</sup>jjvillareal25@unisalle.edu.co

<sup>3</sup>jatorres@unisalle.edu.co

*Recibido: 25/05/2014 • Aprobado: 22/06/2014*

### RESUMEN

El presente proyecto evaluó el impacto de la huella hídrica dentro del proceso productivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). La huella hídrica es un indicador multidimensional que cuantifica el volumen de agua utilizado para la producción de un bien. El objetivo del presente estudio es cuantificar el consumo del recurso hídrico, para concientizar a los habitantes del municipio de Palestina, Huila sobre la importancia de la administración adecuada y eficiente del mismo. Adicional a esto, se diseñó un sistema de captación de agua para suplir las necesidades de la población en época de sequía y, de esta manera, no parar las actividades económicas por falta del recurso. Cada tipo de huella hídrica se determinó a partir de valores teóricos e información secundaria suministrada por un cultivador del municipio de Palestina. Estos valores se utilizaron como base para determinar las huellas azul, verde y gris del cultivo de pitahaya amarilla en su fase productiva. El estudio se realizó por medio del manejo del software CropWat 8.0 (propuesto por la FAO en el año 2010), el cual es un programa informático que permite calcular las necesidades hídricas de los cultivos, con base en la tierra, el clima y los datos del mismo cultivo.

**Palabras clave:** cultivos, contaminación de agua, fuentes de agua, modelamiento, preservación del agua.

## ABSTRACT

*This Project evaluated the impact of the water footprint within the productive process of YELLOW PITA-HAYA (*Selenicereus megalanthus*). The water footprint is a multidimensional indicator that quantifies the volume of water used for the production of a good. The objective of this study is to quantify consumption of water resources to raise awareness of population of Palestine, Huila, on the importance of the proper and efficient administration of the same. In addition to this, it was designed a system of water catchment to meet the needs of the population in times of drought and, in this way, do not stop the economic activities due to lack of the resource. Each type of water footprint was determined on the basis of theoretical values and secondary information supplied by a grower from the municipality of Palestine. These values are used as a basis for determining the total water footprint (blue, green and gray) of yellow pitahaya crop in its production phase. This study was conducted by the software CropWat 8.0 (proposed by FAO in the year 2010), which is a program to calculate the water needs of crops, base on soil, climate and the same crop data.*

**Keywords:** *crops, modeling, wáter conservation, wáter pollution, wáter resources.*



## I. INTRODUCCIÓN

El indicador de huella hídrica en la agricultura permite establecer políticas y acciones concretas para Ahorrar agua en el sector que mayor requerimiento del recurso tenga [1]. Poco a poco se han venido desarrollando nuevas tecnologías para mejorar la producción agrícola y disminuir los impactos que esta produce al medio ambiente; tecnologías que van desde rotación de cultivos, mejoras de procesos, hasta modelos que ayudan a obtener información vital para sacar más provecho a los sembradíos invirtiendo menos. Hablando de manera simplificada, la Huella Hídrica (HH) es un indicador de consumo y contaminación de agua dulce, que contempla las dimensiones directa e indirecta; es decir, todo el consumo de agua que se hace para producir un bien común se tiene en cuenta para determinar dicho indicador [2]. Con todo esto se puede determinar cuánta agua es necesaria en realidad para iniciar y culminar un proceso productivo ya sea de una fruta u otro elemento [3].

Con esta información es posible realizar o diseñar alternativas de manejo del recurso hídrico que optimicen el consumo y disminuyan el impacto hacia el medio ambiente, asegurando así un futuro menos opaco que el que se tiene hoy en día. De las alternativas mencionadas anteriormente, se debe indagar cuál es la más viable, es decir, que sea de fácil acceso, construcción y, sobre todo económica, para que sea una propuesta atractiva para el interesado o principal representante del cultivo.

El presente proyecto se llevó a cabo mediante una técnica de modelamiento a través del uso del software CropWat 8.0, alimentando para este las variables correspondientes, con el fin de calcular cada una de las huellas hídricas: verde, azul y gris, de un cultivo ubicado en el municipio de Palestina, Huila, para así, posteriormente, diseñar un sistema de captación de aguas lluvias para dicho cultivo, contando con

los datos suministrados por el mismo municipio y otras fuentes como Ideam. Alternativamente de la evaluación y uso de la gestión del recurso agua, se creó un sistema de riego adecuado para el suelo y la topografía del terreno.

## II. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se tuvo en cuenta la metodología planteada en [3]; sin embargo, se realizaron algunas adaptaciones para el desarrollo del estudio, en el caso de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). La metodología modificada está constituida por tres fases.

### A. Fase: diagnóstico

La pitahaya es una planta perenne que requiere de soporte o tutor en cultivo, ya que su estructura no le permite sostenerse por sí misma. La distancia entre plantas es de 1,2 m y entre tutores es de 2,5 m. El sistema radicular está constituido por una raíz principal poco profunda para la fijación, y por raíces accidentales, que se producen sobre los lados de los tallos; al crecer se introducen en la tierra y adquieren las características de raíces normales [4].

Con base en lo anterior, se tuvieron en cuenta dos enfoques: uno de tipo cualitativo y otro, cuantitativo [5]. Considerando el desarrollo del enfoque cualitativo, se inició con la observación y la recopilación de datos e información para la elaboración del diagnóstico de la situación actual en relación con el consumo de agua en el cultivo de pitahaya amarilla, por lo que se tuvo

en cuenta el reconocimiento de la zona en estudio, identificando las fuentes de abastecimiento del cultivo [6].

Posteriormente, se realizó un reconocimiento detallado de la producción de la pitahaya amarilla, con el que se logró identificar cada una de las etapas por las que pasa la fruta [7, 8, 9]. Se cuenta con cuatro etapas para el proceso productivo de la pitahaya amarilla a saber: propagación; siembra que incluye labores de cultivo, manejo de la fertilización monitoreo de plagas y enfermedades y manejo de arvenses; labores de cosecha y poscosecha [10, 11].

En cuanto a los datos climatológicos, fueron obtenidos de la estación de meteorología más cercana, la estación Sevilla, ubicada en el municipio de Pitalito – Huila, perteneciente a la red de monitoreo del Ideam. Esta estación tiene coordenadas 0150N - 7607W. De esta, se tomaron datos de temperatura, velocidad del viento, evaporación, brillo solar, radiación solar, humedad relativa y precipitación.

### B. Segunda fase: modelamiento

La segunda fase se desarrolló utilizando el software CropWat 8.0 propuesto por [12]. El software primero calcula la evapotranspiración potencial o de referencia, para lo cual se consultaron las temperaturas mínimas y máximas, la humedad, la velocidad del viento y la insolación del lugar por medio de datos suministrados por el Ideam, como se muestra en la Fig. 1. Los datos de las columnas que están en amarillo, son los resultados calculados por el programa.

País		Colombia		Estación		Sevilla	
Altitud		1320 m.		Latitud		0.10 °N	
				Longitud		76.00 °E	
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Inzolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	12.8	28.3	78	0.0	4.5	15.8	2.97
Febrero	13.8	28.4	78	0.0	4.1	15.7	3.03
Marzo	14.0	28.2	80	0.0	3.3	14.7	2.89
Abril	14.4	27.8	81	1.7	3.6	14.7	3.28
Mayo	13.6	28.2	80	0.0	4.1	14.6	2.79
Junio	14.6	27.4	82	1.3	3.4	13.1	2.87
Julio	12.0	26.6	83	0.0	3.8	13.9	2.61
Agosto	12.0	26.8	82	1.4	3.1	13.5	2.91
Septiembre	12.0	28.8	79	0.0	4.1	15.6	2.98
Octubre	13.0	28.2	80	1.4	4.1	15.7	3.39
Noviembre	14.4	28.2	82	0.0	4.6	16.0	3.10
Diciembre	12.0	27.8	83	0.0	4.7	15.9	2.99
Promedio	13.2	27.9	81	0.5	3.9	14.9	2.98

Fig. 1 Cálculo de la evapotranspiración potencial para el cultivo de pitahaya amarilla [12]

Seguido a esto, el programa hace los cálculos de precipitación efectiva de la planta. En la Fig. 2 se puede observar que este cálculo se realizó con base

en los valores de precipitación del lugar, para que este hiciera los cálculos de precipitación, como se muestra en la última columna, señalada en amarillo.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	70.3	62.4
Febrero	39.2	36.7
Marzo	113.3	92.8
Abril	151.2	114.6
Mayo	120.3	97.1
Junio	161.8	119.9
Julio	114.8	93.7
Agosto	132.4	104.4
Septiembre	72.3	63.9
Octubre	86.0	74.2
Noviembre	93.3	79.4
Diciembre	139.3	108.3
<b>Total</b>	<b>1294.2</b>	<b>1047.4</b>

Fig. 2 Cálculo de la precipitación efectiva en la zona con datos suministrados por la Estación Sevilla [1]

Fuente: Estación Sevilla (Red de monitoreo del IDEAM)

El programa presenta otros cálculos para los cuales se solicitó información general del cultivo, como son la fecha de siembra y las etapas de crecimiento, cuyos valores fueron tomados de la publicación de la FAO [13]. Este documento incluye la duración general para las cuatro etapas de crecimiento de distintos cultivos, así como la duración total de la temporada de crecimiento de cada uno, para distintos tipos de clima y diferentes localidades.

Cabe resaltar que la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) no se encuentra en el documento de la FAO, así que se tomaron los valores de fruta tropical, ya que de toda la lista es la que más se parece al cultivo que está en estudio. En la Fig. 3 se muestran todos los datos mencionados en esta etapa.

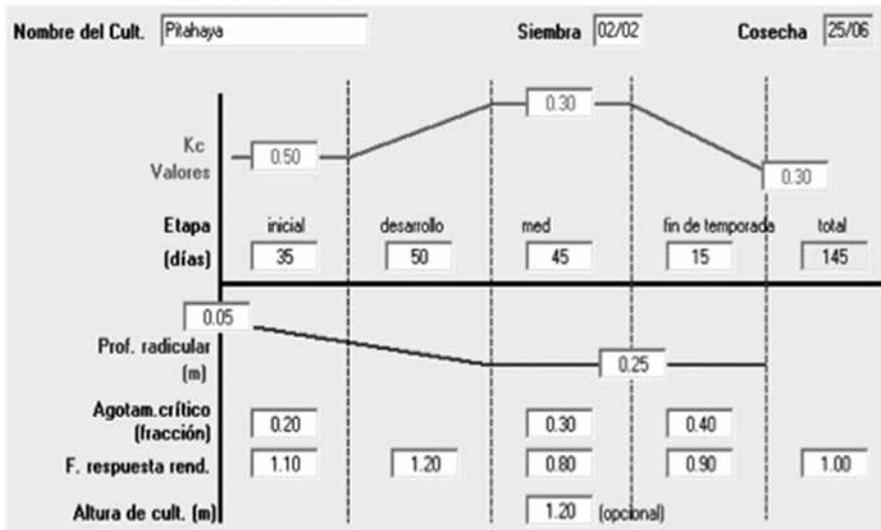


Fig. 3 Información general del cultivo [12]

El siguiente paso fue introducir la información general del suelo del cultivo; en este caso, el suelo es franco. Esta información permite identificar de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) las características específicas del mismo y, por

ende, determinar la disponibilidad de agua para el desarrollo del cultivo y otros factores relacionados con el suelo que puedan afectar la producción. En la Fig. 4 se pueden observar los datos del suelo de este cultivo.

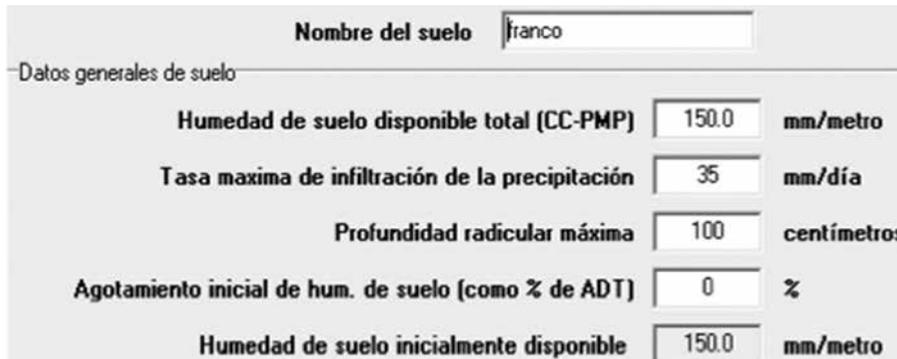


Fig. 4 Información general del suelo [12]

Finalmente, el programa calcula el requerimiento de agua del cultivo con todos los datos

consultados anteriormente, como se muestra en la Figura 5.

Estación ETo Sevilla			Cultivo Pitahaya Amarilla				
Est. de lluvia			Fecha de siembra 02/02				
Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Feb	1	Iric	0.50	1.50	13.5	11.3	1.0
Feb	2	Iric	0.50	1.51	15.1	8.4	6.7
Feb	3	Iric	0.50	1.49	11.9	15.9	0.0
Mar	1	Des	0.50	1.46	14.6	25.8	0.0
Mar	2	Des	0.46	1.34	13.4	32.5	0.0
Mar	3	Des	0.41	1.25	13.7	34.4	0.0
Abr	1	Des	0.36	1.14	11.4	37.0	0.0
Abr	2	Des	0.32	1.04	10.4	40.1	0.0
Abr	3	Med	0.27	0.84	8.4	37.5	0.0
May	1	Med	0.26	0.77	7.7	33.1	0.0
May	2	Med	0.26	0.73	7.3	30.5	0.0
May	3	Med	0.26	0.73	8.1	33.6	0.0
Jun	1	Med	0.26	0.74	7.4	39.0	0.0
Jun	2	Fin	0.30	0.85	8.5	42.3	0.0
Jun	3	Fin	0.30	0.83	5.0	23.2	0.0
					<b>156.6</b>	<b>444.4</b>	<b>7.7</b>

Fig. 5 Requerimiento de agua del cultivo de pitahaya amarilla [12]

En el siguiente paso se cuantificaron las huellas hídricas azul, verde y gris.

La huella hídrica azul (HH proc, azul [m<sup>3</sup>/ton]), corresponde al cociente entre el agua aprovechada por el cultivo proveniente del riego y el rendimiento del cultivo [14].

La cantidad de agua que aprovecha el cultivo proveniente del riego corresponde a la diferencia entre los requerimientos hídricos y la precipitación efectiva. Siendo el valor de requerimiento de riego del cultivo, el que se divide por el rendimiento del mismo, entendiéndose este último como la cantidad de producto final cosechado, dividido por el área en que fue producido. A continuación se expresa la ecuación y las variables que se tuvieron en cuenta para el cálculo.

Donde:

$$(HHProc, azul) = \frac{CWU \text{ riego}}{Y} \quad (1)$$

CWU riego= requerimientos de riego de los cultivos (m).

Y= Rendimiento del cultivo (Ton/m<sup>2</sup>).

Para el caso de este estudio, la huella hídrica azul no se tuvo en cuenta ya que este cultivo no cuenta con un sistema de riego; solo se abastece de la precipitación del lugar. Por consiguiente, el valor de la huella hídrica azul es cero (0).

La huella hídrica verde corresponde al cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de la precipitación y el rendimiento del cultivo [14]. La cantidad de agua que es aprovechada por el cultivo proveniente de precipitación es equivalente a la precipitación efectiva, por lo cual la huella hídrica verde puede entenderse como la razón entre la precipitación efectiva del lugar donde se ubica el cultivo de pitahaya amarilla (*Seleniceus megalanthus*) con el rendimiento del mismo.

$$(HHproc, verde) = \frac{Pp ef}{Y} \quad (2)$$

Donde:

$HH_{proc, verde}$  = Huella Hídrica Verde [ $m^3/ton$ ]

$P_{pef}$  = Precipitación efectiva en metros [m]

$\gamma$  = Rendimiento [ $ton/m^2$ ].

Por consiguiente, la huella hídrica verde es de 2444.340  $m^2/ton$ .

La estimación del componente gris de la huella hídrica depende de la tasa de aplicación de productos químicos por hectárea, la fracción de lixiviación, el rendimiento del cultivo, la concentración máxima permisible y la concentración natural de los contaminantes en el cuerpo de agua receptor. En ese orden de ideas, la huella hídrica gris se calcula a partir de la multiplicación de la tasa de aplicación de los productos químicos por la fracción de lixiviación, dividido entre la diferencia de concentraciones, es decir, concentración máxima menos la concentración natural de la fuente receptora, todo lo anterior dividido entre el rendimiento del cultivo, según se expresa en la siguiente ecuación.

$$(HH_{proc, grey}) \frac{(\alpha * AR)/(C_{max} - C_{nat})}{\gamma} \quad (3)$$

Donde:

$\alpha$ : fracción de lixiviación de agua de riego aplicada.

AR: cantidad de fertilizante aplicada al cultivo (kg/ha).

$C_{max}$ : concentración máxima permisible de contaminante en la fuente receptora.

$C_{nat}$ : concentración natural del contaminante en la fuente receptora.

$\gamma$ : rendimiento del cultivo (Ton/ha).

Se asumió un 10% para la fracción de lixiviación según lo plantean [14], debido a que no se tenían datos específicos del porcentaje de lixiviación en el cultivo.

El cálculo de la tasa de aplicación de productos químicos se realizó por cada uno de los nutrientes principales que en su composición contiene el

fertilizante 10-20-20, es decir, nitrógeno, fósforo y potasio. Por otro lado, al no tener información sobre los valores de concentración de nitrógeno de la quebrada Acuacatá del municipio de Palestina, se optó por asumir el valor de cero. Suponiendo que las concentraciones en el cuerpo hídrico natural son bajas, el rendimiento del cultivo para esa producción fue de 4.285 ton/ha. De este modo, el valor de huella hídrica gris es de 466,74  $m^2/ton$ .

Con los valores de los componentes de la huella hídrica (azul, verde, gris) calculados anteriormente, se halló la huella total así:

$$HH_{total} [m^3/ton] = HH_{azul} + HH_{verde} + HH_{gris}$$

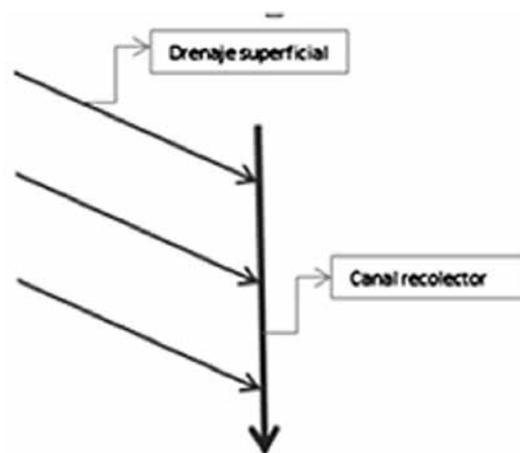
$$HH_{total} = 2444.340 + 466.74 [m^3/ton]$$

$$HH_{total} = 2911.08 [m^3/ton]$$

### C. Tercera fase: formulación de alternativas

Con base en lo observado en el terreno y respaldados por los cálculos, se propuso un diseño de drenaje y otro de captación de agua lluvia para usos varios. El agua que se capta no es de consumo humano.

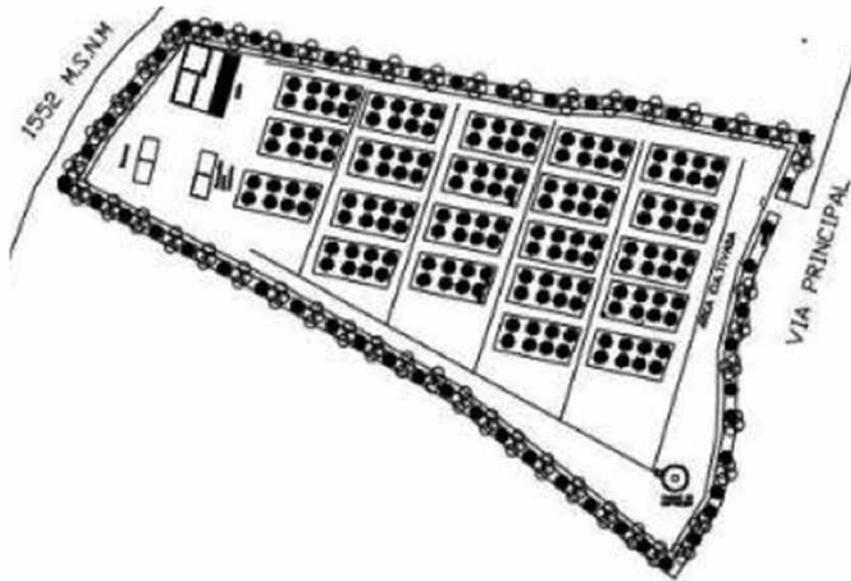
Para la red básica de drenaje se deben utilizar zanjas a cielo abierto de sección trapezoidal, cuyo nivel de agua esté siempre abajo del terreno, ya que solo en estas condiciones se permitirá el desfogue de los drenes superficiales [15, 16].



**Fig. 6** Media espina de pescado recomendada de acuerdo con la topografía del terreno [17]

Como primer paso en el diseño de los drenajes superficiales, se aprovechó la inclinación del cultivo, ya que este se encuentra ubicado en una ladera de montaña, por tanto, se modifica el sistema de espina de pescado el cual se utiliza cuando se tiene pendiente cruzada que sigue el contorno de la pendiente en terrenos moderadamente inclinados de topografía irregular, para pasar a ser una media espina de pescado, es decir, se conducen las aguas hacia una sola dirección del terreno como se observa en la Fig. 6, en la que se muestra el canal recolector que llevará el agua al almacenamiento.

Para el correcto funcionamiento del sistema de drenaje, teniendo en cuenta que el diseño tiene medidas diferentes para el drenaje superficial y el canal recolector, ya que este es para un área de 350 m de largo y 200 m de ancho, donde el canal recolector se diseñó a lo largo del área y los canales de drenaje superficial a lo ancho del terreno, como se observa en la Fig. 7, se debe tener en cuenta que los canales secundarios serán 5 y cada uno estará a una distancia de 40 m [17].



**Fig. 7** Vista superior de la zona de cultivo con el diseño propuesto para el drenaje y la captación [17].

Para el diseño del canal recolector, se tuvo en cuenta la precipitación del lugar en el mes de junio en el año 2014, la cual fue de 161,8 mm. Para que el diseño soporte las épocas de lluvia se diseñó el canal de forma trapezoidal con sus respectivas dimensiones, como se muestra en la Figura 7.

El canal se diseñó sobredimensionado para facilitar su construcción y para evitar rebosamientos durante épocas de lluvias. Las dimensiones están calculadas para resistir un caudal de 341 L/s en material de geo-membrana y de 264 L/s en material de cemento.

En cuanto a los parámetros de diseño, se tuvo en cuenta la pendiente del terreno que es de 9,1% y el material con el cual se construirán los canales. En la Tabla 1 se pueden observar los parámetros de diseño paso a paso. En esta se muestran las velocidades según el material de construcción, ya sea geo-membrana o cemento. Para la geo-membrana la velocidad del canal es de 3,1 m/s y para el cemento es de 2,4 m/s, lo que indica que el diseño con geo-membrana puede tener más arrastre de limos que el diseño con cemento.

TABLA I

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL CANAL RECOLECTOR

Nombre	Valor
Altura lámina de agua.	0,6
Área hidráulica.	0,11 m <sup>2</sup>
Perímetro mojado.	0,92 m
Pendiente	0,214m
Talud (z)	25:1 (0,25)
Radio hidráulico.	0,119m
Pendiente del terreno.	0,091 m
“n” para membrana (Manning).	0,027
Velocidad del agua en membrana.	3,1 m/s
“n” para cemento (Manning).	0,035
Velocidad del agua en cemento.	2,4 m/s

Para que haya sedimentación en el canal de recolección, es necesario ampliar las dimensiones de este en la parte final, con el fin de reducir la velocidad de golpe y, de esta manera, favorecer la recolección de los sólidos que se pueden presentar durante el proceso del drenaje.

En el diseño de los canales superficiales se tuvo en cuenta la pendiente del terreno, la cual es de 2,5%. Serán cinco canales y estarán construidos cada 40 m; así mismo, deben ir horizontalmente en el terreno y estar cada uno conectado con el canal de recolección, el cual es el principal. En la Tabla 2 se pueden observar todos los parámetros de diseño que se tuvieron en cuenta para estos 5 canales. Las dimensiones están pensadas para resistir un caudal de 14,68 L/s en material de geo-membrana y de 14,8 L/s en material de cemento.

TABLA II

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS CANALES SUPERFICIALES

Nombre	Valor
Altura lámina de agua.	0,28
Área hidráulica.	0,0185 m <sup>2</sup>
Perímetro mojado.	0,494 m
Pendiente	0,122m
Talud	25:1 (0,25)
Radio hidráulico.	0,037m
Pendiente del terreno.	0,025 m
“n” para membrana (Manning).	0,027
Velocidad del agua en membrana.	0,8 m/s
“n” para cemento (Manning).	0,035
Velocidad del agua en cemento.	0,6 m/s

También se contempló la posibilidad de construir los canales superficiales en geo-membrana y cemento. La velocidad del agua en los canales construidos con geo-membrana es de 0,8 m/s y la del cemento es de 0,6 m/s, lo que indica que los dos materiales están dentro de los rangos de velocidad máxima permisible para evitar arrastre de limos y minerales importantes para el suelo.

En cuanto al almacenamiento se debe resaltar que la alternativa más económica para este, es la utilización de un tanque de polietileno, el cual se puede encontrar con más facilidad que en otros materiales [18].

Según los cálculos que se hicieron, debe almacenar 819 L por día, ya que las precipitaciones no son constantes durante todos los días del mes

y, por consiguiente, no se puede asegurar el almacenamiento total diario del agua. Se propone utilizar un tanque de 2.000 L, ya que este permite una mayor capacidad de almacenamiento, lo cual puede amortiguar la necesidad de agua durante épocas de sequía.

#### D. Análisis de resultados

En la producción de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), el rendimiento del cultivo depende de las condiciones climatológicas en las que se desarrolle este; por tal razón, la precipitación es

un factor que limita el desarrollo y la producción de la planta de pitahaya amarilla. En la Fig. 8, se presenta una relación entre la precipitación y la productividad del año 2012 en el municipio de Palestina-Huila, siendo este el mayor productor para este año de pitahaya amarilla, según [19], lo que demuestra, por medio del coeficiente de correlación de Pearson, la relación entre estas dos variables; se obtuvo un valor de -0.624, lo que da a entender que son inversamente proporcionales. En consecuencia, a mayor precipitación, la productividad tiende a disminuir como se muestra en la Fig. 8.

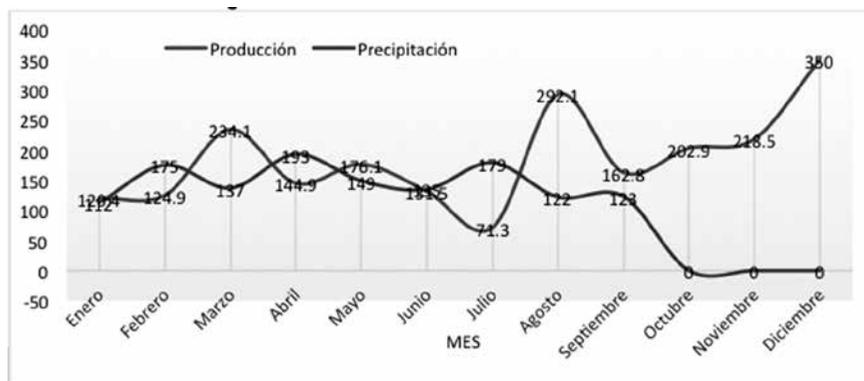


Fig. 8 Relación precipitación (mm) – producción (toneladas) año 2012.

Esta tendencia se mantiene en el cultivo de pitahaya amarilla en este municipio, ya que el comportamiento de la planta tiende a no tener una necesidad excesiva de agua, por ser un cactus. Esto se puede demostrar en la siguiente relación entre el requerimiento de riego y la precipitación efectiva en la que se obtuvo un valor de correlación de Pearson de -0,627, lo que indica que a

mayor cantidad de precipitación hay un menor requerimiento de riego. En la Fig. 9 se muestra que el cultivo, según las condiciones de precipitación en el municipio de Palestina para el año 2014, no tuvo una necesidad de riego que superara el valor de precipitación efectiva; no obstante, el único mes que se acerca a un requerimiento mínimo de riego es febrero, como se observa en la Fig. 9.

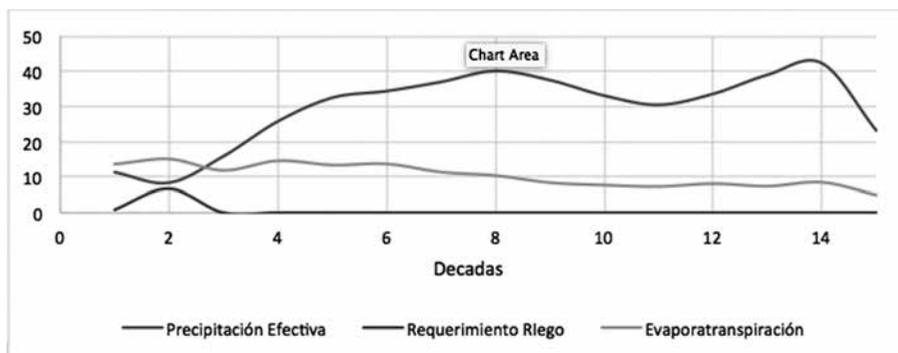


Fig. 9 Relación precipitación efectiva - requerimiento riego años 2014.

Así mismo, como se ve en la Fig. 9, la precipitación es muy alta en el municipio de Palestina (Huila), ya que los mm/año, para el año 2014, fueron de 1294.2. Debido a que no se presenta en ningún periodo del año una necesidad de riego, pues al calcular la huella hídrica azul se obtiene un valor de 0, el cultivo no requiere un sistema de riego. De igual forma, se puede identificar en la Figura 9, que el cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) aprovecha la mayor cantidad de agua proveniente de la precipitación. Según la FAO, el requerimiento hídrico de este cultivo es de 350 a 600 mm de agua durante el periodo de crecimiento, el cual puede ser fácilmente suplido por las condiciones de precipitación.

Como se puede observar en la Figura 9, en la zona de estudio se presentan valores altos de precipitación en el año 2014, lo que generó un exceso de agua en el cultivo; es necesario evitar encharcamientos para garantizar que no se afecte la productividad, ya que como se demostró anteriormente, la precipitación es un factor determinante en la productividad de este cultivo.

Por lo anterior, se plantea en el desarrollo del proyecto un sistema de drenaje de media espina de pescado que finaliza en un tanque de captación de aguas lluvias, aprovechando que la topografía del lugar tiene grandes pendientes; de esta manera, el agua baja por gravedad hasta el tanque de captación. Este sistema es importante en la zona de cultivo ya que la precipitación es alta y estos diseños ayudarían a disminuir los excesos dentro del cultivo de pitahaya amarilla, con el objeto de desalojar dichos excedentes en un tiempo adecuado y, así, asegurar un contenido de humedad apropiado para las raíces de las plantas y conseguir su óptimo desarrollo [20].

Finalmente, para el almacenamiento del recuso, la alternativa que se escogió fue la de un tanque de polietileno, por la facilidad de encontrarlo en cualquier ferretería a un costo bajo. Además, según los cálculos anteriores, se deben almacenar

aproximadamente 819 L/día; por esta razón, el tanque de polietileno debe tener una capacidad total de 2.000 L, ya que esto permite que se almacene una mayor capacidad del recurso sin necesidad de desperdiciarlo y, de esta manera, se amortigua la necesidad de agua durante días de sequía.

Para el sistema de drenaje y captación se consideraron dos tipos de material: geo-membrana y concreto; se tomó en cuenta para esto que el área cultivada de pitahaya es de 7 hectáreas por lo cual para los cálculos de las propuestas se estima un 10% del total del terreno como área de construcción de canales para la media espina de pescado [21].

Es importante tener en cuenta que el mejor material para construir este sistema de drenaje es la geo-membrana, ya que este puede ser removido en el momento en que el propietario de la finca decida cambiar el orden del cultivo o, en su defecto, de tipo de planta. Además de esto, los costos de construcción en geo-membrana son de \$60'273.636 mientras que en cemento, son muy elevados (\$107'296.080) y la construcción no tiene posibilidad de ser modificada dentro del cultivo. Tampoco es conveniente construir en concreto dentro de un cultivo tan productivo como lo es el de la pitahaya amarilla, la zona de estudio.

### III. CONCLUSIONES

Evaluar el proceso productivo de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) permitió identificar el orden del proceso desde la preparación del suelo hasta la cosecha del fruto, notando que dentro del mismo se pueden generar residuos sólidos como lo es la fruta afectada o dañada por enfermedades, la cual debe ser tratada al momento de ser eliminada [22, 23].

De la estimación de la huella hídrica total del cultivo, se encuentra que uno de sus componentes, la huella hídrica azul, es cero, ya que no cuenta con

un sistema de riego, y no porque se quiera ignorar este punto, sino porque la precipitación del lugar es más que suficiente para hidratar el cultivo, tal y como lo demuestra la precipitación encontrada en el lugar, tomada de la estación meteorológica Sevilla. Sin embargo, se evidenció mediante la Fig. 9, que la productividad y la precipitación son inversamente proporcionales; es decir, que a mayor precipitación en el lugar, menor será la producción del cultivo.

Dado que el cultivo de pitahaya amarilla no necesita de un sistema de riego para mejorar su producción, se determinó que en época de excesiva precipitación, es necesario diseñar un sistema de drenaje para que la planta no baje su productividad. Respecto de la alternativa de material para el diseño de drenaje, se evidenció que la mejor opción es construirlo con geo-membrana, por facilidad y costos; además, es lo más conveniente para el cultivo ya que los costos de construcción en cemento son muy elevados.

## REFERENCIAS

- [1] IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015, 496 p.
- [2] D. Arévalo, *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica, WWF Reporte Colombia*, 2012, 48 p.
- [3] SO 1446. (2014). *Environmental management - Water footprint- principles, requirements and guidelines*. Obtenido de ISO 1446: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=43263](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43263).
- [4] M. García, Agronet. (2010). *Cultivo y comercialización de pitahaya*. Obtenido de [http://agronet.gov.co/www/docs\\_si2/Cultivo%20de%20pitahaya.pdf](http://agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20pitahaya.pdf).
- [5] C. Conesa, J. Martínez, *Territorio y Medio Ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. España: Universidad de Murcia, 2004.
- [6] Gobernación del Huila, *Documento resumen del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Palestina - Huila*, Neiva - Huila, 2010.
- [7] M. A. Maya, *Operaciones culturales, riego y fertilización*. IC Editorial, 2016.
- [8] M. C. García, *Pitahaya: cosecha y postcosecha*, Editorial CORPOICA, Bogotá D.C, 2003.
- [9] T. Kondo et al., Manual técnico: Tecnología para el manejo de pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran en Colombia. Valle del Cauca (Colombia): CORPOICA, 2013. 96 p.
- [10] R. Castillo et al., *Guía Técnica para el cultivo de pitahaya*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Estatal de Pensilvania, 1996, 158p.
- [11] L. F. Salazar, (2003). *Manejo integrado de arvenses: practica más eficiente para prevenir la erosión de los suelos*. Obtenido de [http://www.ecoportat.net/Temas-Especiales/Suelos/Manejo\\_Integrado\\_de\\_Arvenses\\_Practica\\_mas\\_eficiente\\_para\\_prevenir\\_la\\_erosion\\_de\\_los\\_suelos\\_de\\_la\\_region\\_cafetera\\_colombiana](http://www.ecoportat.net/Temas-Especiales/Suelos/Manejo_Integrado_de_Arvenses_Practica_mas_eficiente_para_prevenir_la_erosion_de_los_suelos_de_la_region_cafetera_colombiana).
- [12] FAO (2013). *CropWat*. Obtenido de [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)
- [13] R. Allen et al., *Evapotranspiración del Cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Roma: FAO, 2006, 300 p.
- [14] A. Hoekstra, et al., *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*, Edited by EarthScan Ltd, London, 2011.
- [15] F. Llerena, *Drenaje Superficial de terrenos agrícolas*. Chapingo, México: Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma de Chapingo, México, 2000.
- [16] FIRA. Serie de Agricultura, Riego y Drenaje. *Banco de México*, Volumen 2, 1985.
- [17] E. Sánchez y J. Villareal, "Diseño de un sistema de captación a partir de la estimación de la huella hídrica para la producción de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en el municipio de Palestina - Huila en la finca Villa Francy". Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2015.
- [18] Londoño Vélez, L. C. *Implementación de buena prácticas agrícolas (BPA resolución 4174 de noviembre 2009) para reducir el impacto socio ambiental, en la producción de pitahaya en la finca el Divino Niño - vereda e Sinaí del municipio de Palestina - Huila*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [19] Gobernación del Huila. *Anuario Estadístico Agropecuario*. Neiva- Huila, 2012.
- [20] R. Pizarro y J. P. Flores, *Diseño de canales para evacuación de aguas lluvia*. EIAS, 2010.
- [21] [21] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, *Manual de Drenaje*. México: SARH, 1986.
- [22] D. Mora, *Manejo fitosanitario del cultivo de la pitahaya *Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer.: medidas para la temporada invernal*, ICA, Bogotá, Colombia, Impresión Produmedios, 2012, 28 p.
- [23] Gobernación del Huila (2007) Obtenido de <http://www.huila.gov.co/documentos/Informe%20de%20Evaluacion%20de%20Plaguicidas.pdf>