

<http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v4i8.553>

Determinación de los requerimientos de riego por aspersión en el cultivo de la achira (*Canna edulis*) y la influencia en sus etapas fenológicas

Determination of requirements of irrigation for aspersion in the cultivation of achira (*Canna edulis*) and the influence on phenological stages

Mario Francisco Játiva Reyes

mario.jativa@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-0309-3938>

Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla

amanda.bonilla@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-9429-1245>

Antonio Luis Barrera Amat

antonio.barrera@unesum.edu.ec

Universidad Estatal Del Sur De Manabi
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-4827-6949>

Recibido: 30 de octubre de 2019
Aprobado: 30 de noviembre de 2019

RESUMEN

La achira (*Canna edulis*) con su principal derivado, el almidón, es muy apetecido y cotizado, en la elaboración de productos enlatados, en las industrias farmacéutica, textil, de papelería y adhesivos; y, en uso medicinal. Es una especie de gran importancia para la economía de las familias campesinas del sector sur oriental del cantón Loja (Ecuador). En cuanto a su cultivo aún se desconocen los elementos básicos necesarios que permitan hacer una planificación en zonas irrigadas. Por lo antes mencionado, se planteó la presente investigación denominada: "Determinación de los requerimientos de riego por aspersión en el cultivo de la achira (*Canna edulis*) y la influencia en sus etapas fenológicas en la provincia de Loja" El objetivo general fue determinar los requerimientos hídricos de la achira, a través del análisis de la evapotranspiración de referencia y del cultivo, y de la determinación del coeficiente del cultivo, mediante la utilización de riego por aspersión. Se aprovechó la presente investigación para conocer la influencia de las dosis de agua de riego entregada al cultivo y su rendimiento en almidón; la proyección hecha para una hectárea determinó que cuando se regó con tensiones de 40 centibares se obtuvo 8412,11 kg/ha (185 quintales/ha); con tensiones 30 cbar se logró 8157,03 kg/ha (179,45 quintales/ha); y, con tensiones de 20 cbar se consiguió 7653,91 kg/ha (168,39 quintales/ha). Se comprobó que la mejor tensión de humedad para utilizar en el cultivo de achira fue la de 40 centibares al haber alcanzado el mayor rendimiento de 8412,11 kg/ha (185,0 quintales/ha); y mayor concentración de almidón (14,61%).

Descriptores: Achira; requerimientos; coeficiente; fenológicos; almidón.

ABSTRACT

The achira (*Canna edulis*) with its main derivative, starch, is highly sought after and valued, in the production of canned products, in the pharmaceutical, textile, stationery and adhesive industries; and, in medicinal use. It is a species of great importance for the economy of the peasant families of the south-eastern sector of the Loja canton (Ecuador). Regarding its cultivation, the basic elements necessary for planning in irrigated areas are still unknown. For the aforementioned, the present investigation was called: "Determination of irrigation requirements for aspersion of the achira crop (*Canna edulis*) and its phenological stages". The general objective was to determine the water requirements of the achira, through the analysis of the reference evapotranspiration and the crop, and the determination of the crop coefficient, through the use of sprinkler irrigation. The present investigation was used to know the influence of the doses of irrigation water delivered to the crop and its yield in starch; the projection made for one hectare determined that when it was irrigated with tensions of 40 centibares, 8412.11 kg / ha (185 quintals / ha) was obtained; with stresses of 30 cbar, 8157.03 kg / ha (179.45 quintals / ha) was achieved; and, with tensions of 20 cbar, 7653.91 kg / ha (168.39

quintals / ha) was achieved. It was found that the best moisture tension to use in the cultivation of achira was that of 40 centibars having achieved the highest yield of 8412.11 kg / ha (185.0 quintals / ha); and higher concentration of starch (14.61%).

Descriptors: Achira; requirements; coefficient; phenological; starch.

INTRODUCCIÓN

En los países de la región andina, existen muchas especies vegetales que aún son poco conocidas para la ciencia o subutilizadas por la humanidad y solo aprovechadas en forma rudimentaria y en su estado silvestre (Sanchez, 2015). Este es el caso de la Achira (*Canna edulis*), que pese a conocer sus múltiples usos de su almidón como ingrediente importante de alimentos elaborados, en enlatados, en la industria farmacéutica, en textil, en papelería y adhesivos, no se ha desarrollado adecuadamente.

En la provincia de Loja, el cultivo de achira y su producto procesado conocido como “chuno” (almidón obtenido del procesamiento del cormo), es un elemento que tiene gran importancia para la economía de las familias campesinas del sector sur oriental del cantón Loja, (Caicedo Guillermo, 1999).

Por su diversidad de aplicaciones, este cultivo nativo tiene un enorme potencial para su desarrollo y expansión, (Caicedo. G, 2014). Además, se están desarrollando iniciativas comunitarias interesantes para mejorar su procesamiento y comercialización, (Cáceres y Camila, 2018)

Desde el punto de vista de riego-motivo del presente trabajo -, el problema central en las áreas regadas de la provincia de Loja y del país en general, es que apenas se cubre un 7% del área cultivable según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2013), sumándose a ello el inadecuado uso del agua por falta de inversión, experiencia y conocimiento. Los problemas más sentidos son: baja eficiencia del riego (FAO, 2016); uso de métodos de riego inapropiados para las condiciones de irregularidad topográfica;

frecuencias de riego generalmente mayores a los requerimientos de cultivo; entre otros (Gallardo, H. 2013).

Para mejorar el uso de agua se requiere generar información local en base a programas de investigación; y con los resultados que se vayan obteniendo emprender en eventos estructurados de capacitación, sobre temas como: la aplicación del agua en la parcela, el requerimiento hídrico de cada cultivo según su etapa fenológica, los efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos, la distribución del agua a nivel de sistema, etc. Adicionalmente, es indispensable fortalecer las organizaciones de regantes, mejorar la administración de riego, perfeccionar la infraestructura de riego y poner en marcha planes serios de manejo de las micro cuencas, (Cely, Germán. 2010).

Roberto Arcos (2015), la excesiva humedad causa un desarrollo anormal del follaje y de los rizomas, presentándose pudrición general de la planta. El requerimiento de agua durante el periodo vegetativo es de 800 a 1 120 mm bien distribuidos

Bajo estas consideraciones se plantea la presente investigación, la misma que se circunscribe dentro de un sistema de riego público no transferido, y con un cultivo nativo promisorio del que no se tiene referencias en cuanto a sus estadios fenológicos ni de sus requerimientos de agua para obtener rendimientos aceptables. La intención del presente trabajo, es dar los primeros lineamientos que sirvan para la planificación del riego en la zona de estudio. La investigación se efectuó en el sector Cabrería – Chumberos, barrio La Palmira, parroquia Quinara, perteneciente al cantón Loja, provincia de Loja - Ecuador.

La presente investigación planteó determinar los requerimientos hídricos de la Achira (*Canna edulis*), a través del análisis de la Evapotranspiración (ET_o, ET_c) y de la determinación del Coeficiente del cultivo (K_c), mediante la utilización de riego por aspersión, que ayude a programar de manera eficiente las labores de regadío.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en el sector Cabrería - Chumberos, que pertenece al barrio La Palmira, parroquia Quinara, perteneciente al cantón Loja, provincia de Loja. El área experimental está bajo la influencia del sistema de riego público La Palmira. Se encuentra a aproximadamente 65 km de la ciudad de Loja; y a 3 km aproximadamente de la cabecera parroquial (Véase figura 1).

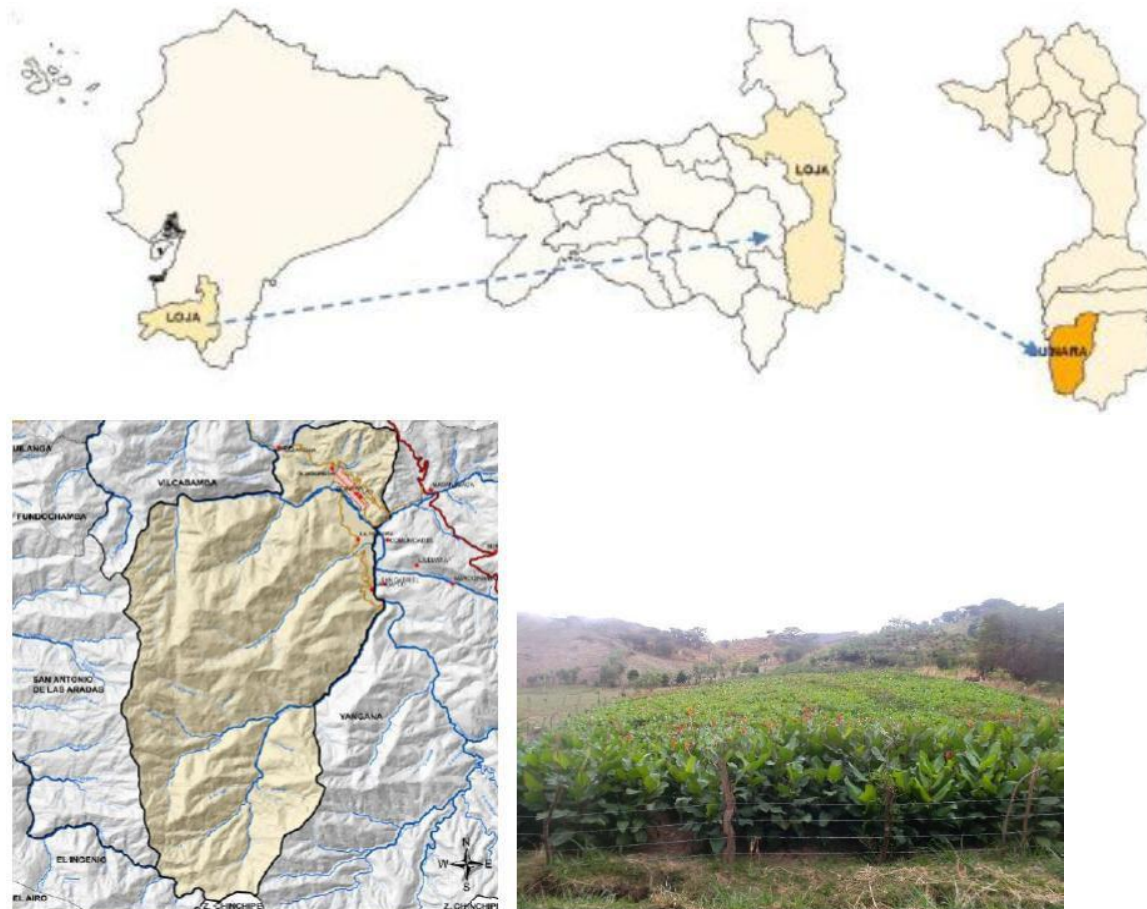


Figura 1. Ubicación del área experimental

La parcela experimental tiene las siguientes características geográficas y climáticas:

Coordenadas UTM, WGS84, zona geográfica 17 Sur:

Coordenada N: 9521930 m y 9521964 m
Coordenada E: 694455 m y 694532 m
Área total: 2879,5 m²
Área neta: 1536 m² (6 parcelas de 256 m² cada una)
Altitud: 1576 m.s.n.m.
Temperatura media anual: 20°C (PDYOT, 2011), clima térmico subtropical (Maldonado N, 2005)
Precipitación media anual: 773,1 mm
Zona agroecológica: bosque seco Pre Montano (b.s.PM)
Tipo de clima: Sabana Tropical de altura (AwH) (Álvarez, 2014).

Determinación de los estadios fenológicos de la achira

En base a investigaciones hechas en la localidad y a la opinión de los agricultores, se escogió la variedad Morada de achira, que produce la más alta cantidad de almidón (16.6 % de chuno). Esta variedad se caracteriza por tener hojas con una tonalidad morada más intensa y flores de color rojo.

Los estadios identificados y adaptados a la escala fueron:

Estadio 0: Brotación de la yema
Estadio 1: Desarrollo de las hojas del tallo principal
Estadio 2: Formación de brotes laterales o ahijamiento
Estadio 3: Crecimiento longitudinal del tallo principal. Desarrollo de brotes
Estadio 4: Desarrollo foliar de los hijuelos
Estadio 5: Emergencia de la inflorescencia
Estadio 6: Floración del tallo principal
Estadio 7: Desarrollo del fruto
Estadio 8: Maduración de frutos y semillas
Estadio 9: Senescencia, comienzo de la dormancia, cosecha.

Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

Para determinar la ET_o se realizó el cálculo por dos métodos: el recomendado por la FAO en su manual 56 de Riego y Drenaje a través del procedimiento de Penman-Monteith; así mismo mediante el ensayo del tanque evaporímetro clase A. Se adoptó el método combinado de Penman – Monteith, como el nuevo procedimiento estándar para

la evapotranspiración de referencia...produce valores que son más consistentes con datos reales del uso de agua de los cultivos obtenidos mundialmente”, también indica “Los únicos factores que afectan la ETo son los parámetros climáticos que pueden ser calculados. Por tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo”. Los parámetros requeridos por este método son: temperatura, humedad, velocidad del viento e insolación. Por lo expuesto, en la presente investigación se utilizó el método antes mencionado.

Estimación del valor del coeficiente de cultivo Kc de la achira para las fases de cultivo definidas por la FAO

Se utilizó la metodología propuesta FAO, en donde se indica que el Coeficiente de Cultivo (Kc) es el resultado de la relación entre la evapotranspiración de un cultivo (ETc) durante una etapa definida, con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Se aplicó la siguiente fórmula:

—

Donde:

Kc = Coeficiente de cultivo

ETc = Evapotranspiración del cultivo en análisis

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia

Para la obtención de los valores de ETc se lo hizo mediante la instalación de un lisímetro, al mismo que se le sembró plantas de achira en iguales condiciones que el resto del área experimental. Se hizo monitoreos de acuerdo a los requerimientos y formatos elaborados.

Determinación de los Requerimientos de Riego del Cultivo de la Achira

La metodología utilizada para realizar estos cálculos es la que propone la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Se calculó las necesidades de agua, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$NH = ETo * Kc$$

También se expresa como: $\quad = \quad *$

Donde:

NH = Necesidades hídricas (mm/década)

ETc = Evapotranspiración del cultivo en análisis

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/década)

Kc = Coeficiente de cultivo (según el periodo década considerado)

Luego se determinó las necesidades de riego; estos valores son el resultado de la resta de los valores de las necesidades hídricas de los cultivos y de la precipitación efectiva determinada ($RR = ETc - Pe$); para el presente caso se lo hizo en periodos decadales para todo ciclo de cultivo. Los valores obtenidos, fueron afectados por la eficiencia de conducción considerada en 98%, y la eficiencia de aplicación estimada en 75% (valor típico recomendado para el método de aplicación por aspersión). Estos valores están expresados en m³/ha y en l/s, tanto para la década correspondiente, como para el ciclo de cultivo total.

El diseño experimental que se utilizó fue mono factorial con distribución de bloques al azar, con tres tratamientos y dos repeticiones (figura 19). Los tratamientos estuvieron en relación con la tensión de humedad del suelo: Tratamiento uno 40 centibares, tratamiento dos 20 centibares, tratamiento tres 30 centibares. La selección de las tensiones de humedad se debió a que se conoce que el cultivo de la achira es exigente en humedad, y por otro lado que generalmente todos los cultivos producen adecuadamente cuando están sometidos al menor estrés hídrico, y esto sucede cuando se presentan lecturas en los tensiómetros entre 20 y 40 centibares, (Edward, Martin

2017). La razón de esta evaluación es conocer con que requerimientos de agua se logra los mejores rendimientos de almidón.

El área experimental tuvo las siguientes características:

Unidades experimentales (UE)	= 6 (3 bloques y 2 repeticiones)
Área útil de cada unidad experimental	= 256 m ² (16 m x 16 m)
Distancia entre unidades experimentales	= 4.0 m
Distancia entre plantas	= 0.8 m
Distancia entre hileras	= 1.0 m
Distancia entre aspersores	= 8,0 m
Área total de experimentación	= 2 879, 5 m ²
Área neta de experimentación	= 1 536 m ²

Variable independiente: Tensiones de humedad
Variable dependiente: Rendimiento de la achira en almidón (chuno)

La forma de los bloques o réplicas del ensayo experimental tuvieron forma rectangular, para la orientación de cada bloque se consideró la homogeneidad del mismo. En este tipo de bloques es posible realizar el análisis de varianza (ANOVA). En los tratamientos descritos se evaluó el efecto de tres tensiones de humedad en la producción del cultivo de achira, como variable principal; por lo que se utilizó las fórmulas que se describe en el cuadro de análisis de varianza.

ANALISIS ESTADISTICO

Con la ayuda del software Microsoft Excel se realizaron los cálculos correspondientes, los mismos que se presentan cuadro 1.

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

Cuadro 1

ANALISIS ESTADISTICO DE LA PRODUCCIÓN DE ALMIDON DE ACHIRA

TRATAMIENTO	REPLICAS O REPETICIONES		SUMA	MEDIA	yij	yij ²	S trat	S ² trat	S repet	S ² repet
	1	2		TRATAM.						
1	172,85	257,85	430,70	215,35	172,85	29877,12	430,70	185,502,490	610,10	372222,01
2	265,97	125,91	391,88	195,94	265,97	66486,62	391,88	153,569,934	630,12	3,970,512,144
3	171,28	246,36	417,64	208,82	125,91	70740,04	417,64	174,423,170	suma	769273,22
SUMA	610,10	630,12	1240,22	413,41	171,28	15853,33	suma	513,495,594		
MEDIA UE	203,37	210,04	413,41	206,70	171,28	29336,84				
					246,36	60693,25				
					1240,22	272987,20				

ANALISIS DE VARIANZA

Desviación Estandar =	899,238,704
Suma Cuad Desv =	

bloques# de UE (N)= 6,00
 # de obs/trat= 3
 # de obs/repet= 2
 SDC Total =

1	Factor de corrección	FC=(G ²)/tb	G = Gran Total	
			t = N° de tratamientos	
			b= N° de bloques	
		FC =	2,563,576,081	2
2	Suma de cuadrados total	Sy ² = Syij ² - FC	i= tratamiento	3
			j=repetición	
		Sy2=	1,662,959,393	
3	Suma de cuadrados de tratamientos			
		SCT=((STi ²)/b)-FC	3,901,889,333	
4	Suma de cuadrados de bloques			
		SCB=((Sbj ²)/t)-FC	6,680,006,667	

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

5	Suma de cuadrados del error			
				$SCE_{Error} = SCT_{Total} - SCT_{Trat} - SC_{Bloq}$
			$SCE_{Error} =$	1,617,260,493
6	ADEVA (análisis de varianza)			

FL	SC	GL	CM	F calc 0,05 - 0,01	F tabul 0,05	0,01
Bloques	668,000,667	1	66,80	0,01	19	
Tratamient	390,188,933	2	195,09	0,02	19,16	
error exp.	161,726,049	2	8086,30			
Total	166,295,939	5	8348,20			

OTRAS

ESTIMACIONES

7	$CV = ((\sqrt{CME})/\bar{y}) * 100$	$CV =$	21,75	%
8	Desviación estandar			
	$DS =$	$\sqrt{CM_{ERROR}}$	899,239	
9	Error estandar de las medias de los tratamientos			
	$ES_{xt} =$	$\sqrt{CM_{ERROR}/t}$	0	%
10	Error estandar de las medias de los bloques o repeticiones			
	$ES_{xBLOQUES} =$	$\sqrt{CM_{ERROR}/b}$	63,59	

CONCLUSIÓN:

- 1)** Comparando el F calculada $0,01 < F$ tabulada $19,0$, se determina que entre los BLOQUES O REPETICIONES hechas con cada tratamiento NO HAY DIFERENCIA, o la DIFERENCIA NO ES SIGNIFICATIVA, por tanto, se acepta la hipótesis de comparación y se concluye que los bloques no tienen ningún efecto en el rendimiento de la achira. Las diferencias entre las medias correspondientes se deben a errores fortuitos.
- 2)** Comparando el F calculada $0,02 > F$ tabulada $19,16$ se determina que entre los TRATAMIENTOS NO HAY DIFERENCIA, o la DIFERENCIA NO ES SIGNIFICANCIA, por tanto, se acepta la hipótesis de comparación, y se concluye que los tratamientos no tienen ningún efecto en el rendimiento de la achira. La diferencia entre las medias correspondientes se deben a errores fortuitos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico químicas del suelo

De acuerdo a resultados de los análisis de suelo el 50% del área experimental tiene una textura franco arcillo arenosa (FoAcAo), y el otro 50% es de textura franca (Fo). El área de ensayo tiene un pH de 7,9 que corresponde a ligeramente alcalino; el contenido de materia orgánica y de nitrógeno es baja; en tanto que los contenidos de fósforo (P2O5) y potasio (K2O) son muy bajos.

Fertilización del cultivo

Para el cultivo de la achira no se logró tener recomendaciones de fertilización por parte del laboratorio; en bibliografía recomiendan aplicar 12 ton/ha de humus. Con estas limitaciones y buen criterio se aplicó al cultivo las siguientes cantidades de nutrientes: Humus: 6 ton/ha, N: 50 kg/ha, P2O5: 50 kg/ha y K2O: 35 kg/ha

Infiltración

Para el caso del suelo del ensayo esta función resultante fue:
 $I_{cum} = 0.118 T^{0.87}$ (cm); tiempo (minutos)

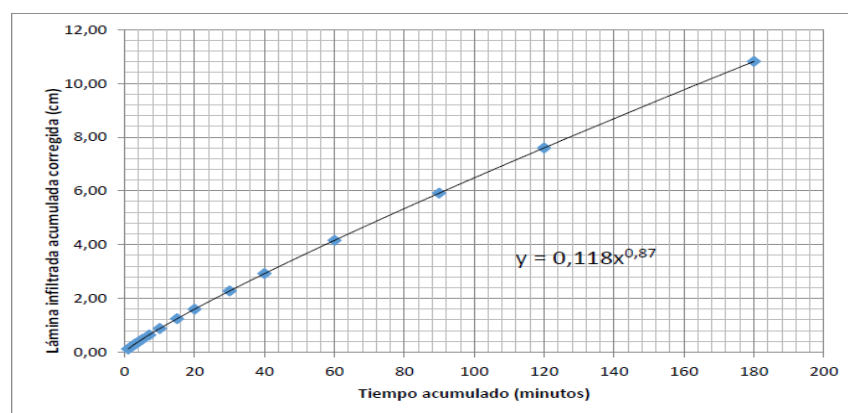


Figura 2. Curva de lámina infiltrada acumulada corregida con la función $I_{cum} = 0.118 T^{0.87}$

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

La ecuación obtenida para la velocidad de infiltración instantánea es:

$$I = 6,05T^{-0.13} \text{ (cm/h)}$$

Mientras que la ecuación de la velocidad de infiltración promedio es:

$$I = 7,09T^{-0.13} \text{ (cm/h)}$$

El tiempo básico calculado es de 78 minutos, en tanto que la infiltración básica es de 0,8 cm/h (8,0 mm/h), dato que corresponde a un suelo franco arcilloso. En el gráfico siguiente se observa lo mencionado.

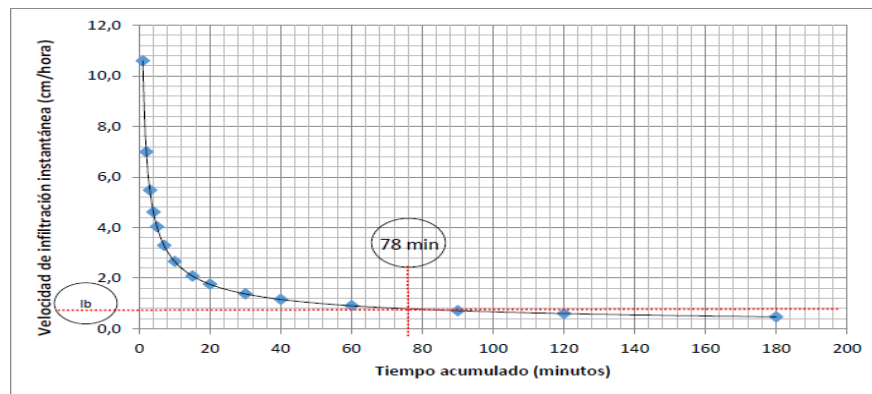


Figura 3. Representación gráfica del tiempo básico y velocidad de infiltración básica

Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión

La tubería de conducción principal y ramales al interior de la parcela que se utilizó fueron de PVC, unión espiga campana, los diámetros utilizados y calculados permitieron el paso de un caudal potencial de 1,5 l/s. Las presiones máximas de trabajo a las que estuvieron sometidas fueron de alrededor de 44 metros de columna de agua (mca), - carga estática - . Las presiones nominales del material estuvieron entre 0,8 y 1,6 Mega pascales (MPa), que corresponden a las comúnmente encontradas en el comercio para diámetros entre 50 mm y 25 mm.

La longitud de tubería utilizada para la línea principal de abastecimiento de agua para el ensayo fue de aproximadamente 126 m de longitud.

DETERMINACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS DE LA ACHIRA

De acuerdo al seguimiento y la escala referencial utilizada, se puede indicar que la duración de los estadios fenológicos del cultivo de la achira, para las condiciones de esta investigación fueron los siguientes:

Cuadro 2. Duración de los estadios fenológicos, según el seguimiento hecho al cultivo de la achira.

Estadios fenológicos de la achira (escala BBCH	Duración (días)
Estadio 0: Brotación de la yema	8 días
Estadio 1: Desarrollo de las hojas del tallo principal	91 días
Estadio 2: Formación de brotes laterales o ahijamiento	164 días
Estadio 3: Crecimiento longitudinal del tallo principal. Desarrollo de brotes	127 días
Estadio 4: Desarrollo foliar de los hijuelos	87 días
Estadio 5: Emergencia de la inflorescencia	50 días
Estadio 6: Floración del tallo principal	63 días
Estadio 7: Desarrollo del fruto del tallo principal	41 días
Estadio 8: Maduración de frutos y semillas	56 días
Estadio 9: Senescencia, comienzo de la dormancia, cosecha	33 días

Elaboración: El autor

ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET_o) A TRAVÉS DEL PROCEDIMIENTO DE PENMAN MONTEITH

Para este análisis, previamente se procesó la información climática diaria generada en la estación INAMHI – Quinara, relacionados con los parámetros que intervienen en su

determinación; estos son: velocidad del viento a 2 m de altura, insolación, temperatura y humedad relativa.

Cuadro 3. Valores de ETo (mm/mes) obtenidos por el método de Penman Monteith para la estación Quinara.

FEBR. 2017	MARZO 2017	ABRIL 2017	MAYO 2017	JUNIO 2017	JULIO 2017	AGOST. 2017	SEPT. 2017	OCT. 2017	NOV. 2017	DIC. 2017	ENERO 2018
19,76	66,70	43,73	83,41	118,01	157,44	132,55	131,13	37,23	13,85	27,17	45,97

Elaboración: El autor

Para el análisis de la información – durante el ciclo del cultivo de la achira de este ensayo específico -, indica que el mes que tuvo mayor ETo para la zona de Quinara fue julio con 157,44 mm/mes, que representó el 18% del total del ciclo; seguido de agosto y septiembre con 132,55 mm/mes (15,1%), y 131,13 mm/mes (15%). Este trimestre evapotranspiró 421,12 mm, que representa el 48% del total anual.

Durante algunos meses que registraron menos evapotranspiración fueron noviembre con 13,85 mm/mes, febrero con 19,76 mm/mes y diciembre con 27,17 mm/mes. Estos tres meses juntos suman una ETo de 60,78 mm, que equivale al 7,8% del total anual

Validación del tanque evaporímetro artesanal con relación al tanque evaporímetro clase A

Para dar una solución práctica a los agricultores de la zona bajo la influencia del sistema de riego La Palmira, se colocaron juntos un tanque evaporímetro clase A y un balde plástico de 15.7 litros de capacidad. La intención fue conocer la relación que existe entre ambos recipientes, y dar como alternativa de uso para los agricultores la utilización del evaporímetro artesanal con fines de reponer la cantidad de agua evaporada.

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

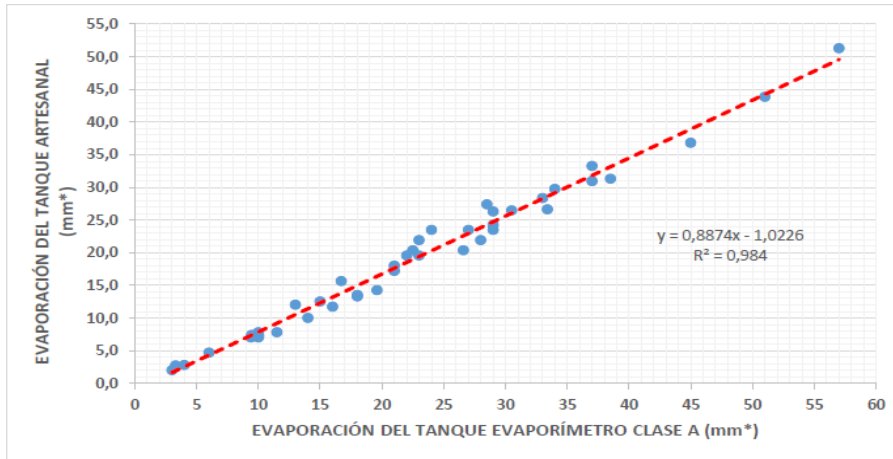


Figura 4. Correlación de lecturas entre tanque evaporímetro artesanal y tanque evaporímetro "clase A"

(*) La lámina evaporada fue medida en periodos variables de tiempo (entre uno y tres días).

Por lo expuesto se consideran aceptables los valores obtenidos de evaporación del tanque artesanal, se ha determinado un factor de ajuste entre el método de tanque evaporímetro artesanal y los valores del tanque evaporímetro clase A, el mismo que es de 0.8874; esto significa que a los valores de evaporación del tanque evaporímetro artesanal hay que multiplicar por dicho factor de ajuste para lograr la equivalencia a las lecturas del tanque evaporímetro clase A.

Uso de la información del tanque evaporímetro artesanal en la programación del riego

La validación del tanque evaporímetro artesanal resulta importante, ya que con este procedimiento sencillo se puede recomendar a los agricultores de la zona donde se realizó el experimento, que puedan realizar una programación del riego basado en este dispositivo sencillo. Para comprender la aplicación de la misma se presenta un ejemplo de programación de riego para la fase inicial del cultivo de la achira.

INFORMACIÓN BÁSICA:

Capacidad de campo	CC	22,0	%
		0	
Punto de marchitez	PMP	12,0	%
		0	
Agua aprovechable	AA	10,0	%
		0	
Densidad aparente	Da	1,17	gr/cm ³
Prof. Raíz	Pr	12	cm
% agotamiento permisible de humedad	%	40	
Kp del tanque		0.7	
Eficiencia de aplicación de riego	Ea	0.75	
# emisores/m ²		4	
Caudal del emisor		1,2	
	l/h		

CÁLCULOS:

Lámina aprovechable	Ln =	5,62	mm
Lámina bruta de riego	Lb =	7,5	mm

Los cálculos realizados indican que cuando la lámina bruta acumulada de riego esté alrededor de 7,5 mm se debe proceder a suministrar riego al cultivo.

Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) de la achira-Contenido de humedad del suelo

Para obtener el balance de humedad del suelo, se elaboró una curva que relaciona el contenido de humedad del suelo en peso versus las lecturas del tensiómetro, los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación en el cuadro 6 y en la figura 5.

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

Cuadro 5. Relación entre las lecturas del tensiómetro (centibares) y el contenido de humedad del suelo

Identificación de la muestra	Tensión (cbs)	Contenido de humedad (%)
L - 4	4	41,6
B1-T2-6	6	43,5
B1-T2-7	7	41,0
B1-T1-8	8	38,0
B1-T1-10	10	33,5
L-18	18	29,5
B1-T2-19	19	28,8
L - 30	30	27,0
B1-T1-40	40	21,8
B1-T2-60	62	17,4

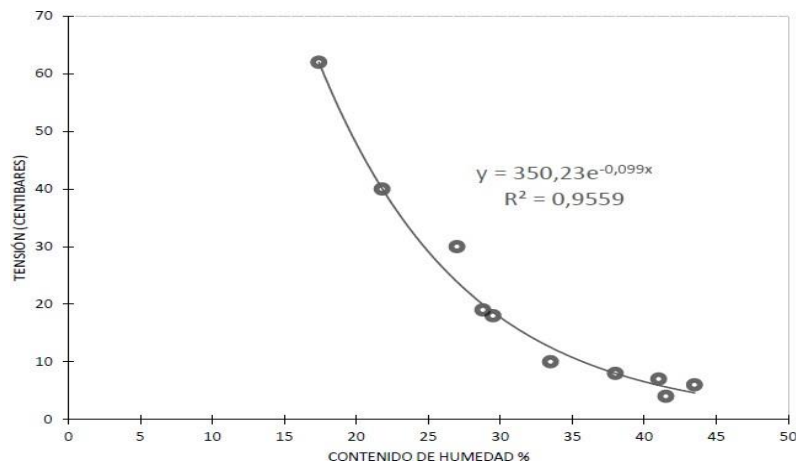


Figura 5. Relación Tensión - contenido de humedad

Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) de la achira

En base a datos predeterminados en el ensayo y para las condiciones puntuales, se ha obtenido los valores del coeficiente de cultivo para la achira en base al lisímetro, los mismos que se indica en la figura 6.

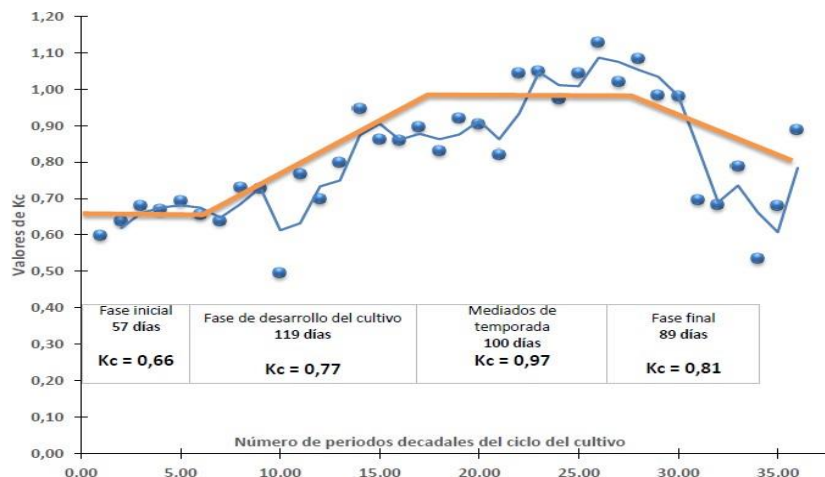


Figura 6. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) de la achira

Para obtener los valores del coeficiente de cultivo Kc, se relacionó mediante división los valores de la ETc alcanzada por el método del lisímetro, y los valores de la ETo obtenida por el procedimiento de Penman Monteith utilizado por Gomariz-Castillo 2016; los valores promedios son los que se encuentran representados en la figura anterior, y que son los siguientes:

- Fase inicial: 0,66
- Fase de desarrollo del cultivo: 0,77
- Fase de mediados de temporada: 0,97
- Fase final: 0,81

Cálculo de los requerimientos de riego con la información de ETc generada en el lisímetro

Mediante la utilización del lisímetro, se tienen los resultados que se reflejan en las figura 7.



Figura 7. Requerimientos hídricos de la achira durante su ciclo de cultivo, basados en la ETc obtenida en el lisímetro.

La figura 7, indica que durante los doce meses que duró el ciclo de cultivo de la achira para las condiciones dadas en el presente ensayo – *en referencia a la información obtenida del lisímetro* -, se estableció que la necesidad de agua requerida fue de 7427,69 m³/ha (742,77 mm/ha).

En la figura 7, se indica que, descontando los aportes recibidos por la lluvia efectiva, las necesidades de riego de la achira fueron de 5543,81 m³/ha (554,38 mm/ha).

Dada la variación climática de la zona en estudio, se requirió un periodo de tiempo de riego permanente que cubrió 5 meses, desde mayo a septiembre; el resto de tiempo fue cubierto por las lluvias caídas en la zona. Durante estos cinco meses el cultivo consumió 527,17 mm (95% del total).

Determinación de los requerimientos de riego, según las lecturas de tensiómetros establecidas en el ensayo

Para los requerimientos de riego del cultivo de la achira, en esta investigación se planteó hacer esta faena cuando el tensiómetro marcó 20, 30 y 40 centibares (dos repeticiones), según como consta en el diseño experimental.

Cuadro 7. Fecha de cambios de ubicación de los tensiómetros en relación a la profundidad radicular durante el ciclo de cultivo.

Profundidad de colocación de los tensiómetros (cm)	Fecha de inicio	Fecha final	Duración (días)
0 - 15	1 febrero/2017	22 abril/2017	82
15 - 20	23 abril/2017	1 agosto/2017	101
20 - 25	2 agosto/2017	septiembre/2017	42
25 - 30	septiembre/2017	3 octubre/2017	22
30 - 40	4 octubre/2017	31 enero/2018	119
Total			366

Elaboración: El Autor

Para llegar a determinar los volúmenes reales aplicados en las unidades experimentales, se hizo la medición del tiempo que se requirió para que los tensiómetros ubicados a diferentes profundidades: 10, 15, 20, 25, 30, 40 cm, lleguen a marcar 4 cbar; el resultado de estas medidas determinaron los siguientes valores.

Cuadro 8. Tiempo de aplicación del riego hasta lograr la disminución de la lectura del tensiómetro a 4 centibares, a diferentes profundidades.

Cuadro 8.

Profundidad de ubicación del tensiómetro (cm)	Tiempo de aplicación del riego (horas)
10	2.72
15	4.08
20	5.44
25	6.80
30	8.16
40	10.88

Elaboración: El Autor

Para las unidades experimentales que se les proporcionó riego cada vez que el tensiómetro llegó a marcar 20 centibares, el cultivo tuvo un requerimiento hídrico de 7305,57 m³/ha (730,56 mm/ciclo), y una exigencia de riego de 4907,86 m³/ha (490,79 mm/ciclo), durante todo su ciclo de cultivo. El número promedio de riegos proporcionados al cultivo fue de 16, para este caso específico.

La diferencia existente en la cantidad de agua requerida y suministrada al cultivo en los diferentes tratamientos fue:

- 20 cbar y 30 cbar: 629,21 m³/ha/ciclo (62,92 mm/ha/ciclo)
- 20 cbar y 40 cbar: 943,80 m³/ha/ciclo (94,38 mm/ha/ciclo)
- 30 cbar y 40 cbar: 314,61 m³/ha/ciclo (31,46 mm/ha/ciclo)

Comparando los valores obtenidos con el lisímetro y los logrados con el uso de los tensiómetros tenemos que, los del lisímetro tienen mayor semejanza con los obtenidos con los del tensiómetro a 20 centibares. El resumen se muestra en el cuadro 9.

Mario Francisco Játiva Reyes; Amanda Elizabeth Bonilla Bonilla; Antonio Luis Barrera Amat antonio.

Cuadro 9. Requerimientos hídricos y de riego del cultivo de la achira, determinados con diferentes tensiones de humedad y lisímetro.

Método	Requerimientos hídricos		Requerimientos de riego	
	m3/ha/ciclo	mm/ha/ciclo	m3/ha/ciclo	mm/ha/ciclo
20 cbar	7305,57	730,56	4907,86	490,79
30 cbar	6676,36	667,64	4278,65	427,89
40 cbar	6361,75	636,18	3964,04	396,40
Lisímetro	7427,69	742,77	5543,81	554,38

Elaboración: El Autor

EFFECTO DEL MANEJO DE LA TENSIÓN DE HUMEDAD SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA ACHIRA EN PESO DE CORMAS Y EN PESO DE ALMIDÓN

En cuanto a los rendimientos en peso de cormas y en peso de almidón se obtuvo del universo de plantas (350 plantas por unidad experimental); los valores por cada bloque y tratamientos se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Valores de rendimientos del cultivo de la achira en comparación con los tratamientos de humedad dados.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2
Tratamiento 1 (40 centibares)	Peso en corma: 1219,55 kg	Peso en corma: 1713,45 kg
	Peso en almidón: 172,85 kg	Peso en almidón: 257,85 kg
Tratamiento 2 (20 centibares)	Peso en corma: 1748,96 kg	Peso en corma: 1265,69 kg
	Peso en almidón: 265,97 kg	Peso en almidón: 125,91 kg
Tratamiento 3 (30 centibares)	Peso en corma: 1632,14 kg	Peso en corma: 1848,50 kg
	Peso en almidón: 171,28 kg	Peso en almidón: 246,36 kg

Elaboración: El Autor

Con la finalidad de realizar el análisis estadístico se tomó en cuenta el rendimiento en peso del almidón (chuno).

La hipótesis nula planteada fue que el rendimiento de almidón de achira es igual en las tres tensiones de humedad (tratamientos); del análisis estadístico se determina que efectivamente no hay diferencia, por lo tanto, la hipótesis planteada se acepta.

Con la proyección de la producción media obtenida por los tratamientos de tensión de humedad, a una hectárea de cultivo tenemos los siguientes valores.

T1 (40 cbar): 8412,11 kg/ha (equivalente a 185 quintales/hectárea)
T2 (20 cbar): 7653.91 kg/ha (equivalente a 168,39 quintales/hectárea)
T3 (30 cbar): 8157,03 kg/ha (equivalente a 179,45 quintales/hectárea)

El porcentaje promedio de almidón obtenido en relación con el peso de corma (tubérculo), de acuerdo a los tratamientos dados es:

T1 (40 cbar): 14,61 % (por cada cien libras de corma se recogen 14,61 libras de chuno)
T2 (20 cbar): 12,58 % (por cada cien libras de corma se recogen 12,58 libras de chuno)
T3 (30 cbar): 11,91 % (por cada cien libras de corma se recogen 11,91 libras de chuno)

CONCLUSIONES

Con la ejecución de este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- Dentro de la escala general de la BBCH los estadios fenológicos de la achira determinados en este experimento y su duración son:
- Estadio 0 (brotación de la yema), 8 días.
- Estadio 1 (desarrollo de las hojas del tallo principal), 91 días.
- Estadio 2 (formación de brotes laterales o ahijamiento), 164 días.
- Estadio 3 (crecimiento longitudinal del tallo principal/desarrollo de brotes), 127 días.
- Estadio 4 (desarrollo foliar de los hijuelos), 87 días.
- Estadio 5 (emergencia de la inflorescencia), 50 días.
- Estadio 6 (floración del tallo principal), 63 días.
- Estadio 7 (desarrollo del fruto del tallo principal), 41 días.
- Estadio 8 (maduración de frutos y semillas), 56 días.
- Estadio 9 (senescencia, comienzo de la dormancia, cosecha), 33 días.

Según esta escala no es necesario la terminación de una fase para el comienzo de la otra, específicamente en esta especie.

Las etapas de crecimiento según la metodología de la FAO determinadas para el cultivo de la achira y con las condiciones de este ensayo fueron: Etapa inicial 57 días; etapa de desarrollo del cultivo 119 días; etapa de mediados de temporada 100 días; etapa de finales de temporada 89 días. El ciclo total del cultivo duró 365 días.

La Evapotranspiración de referencia determinada por el procedimiento de Penman Monteith durante el ciclo del cultivo, registró su mayor valor el mes de julio con 5,08 mm/día; éste valor corresponde a la época más seca del año. Los meses con mayor precipitación registraron los valores de ETo menores; así: octubre 0,48 mm/día y febrero con 0,68 mm/día. El valor total de ETo total durante el ciclo del cultivo fue de 876,95 mm.

Existe baja correspondencia ($r = 0.51$) entre los valores de ETo obtenidos por los métodos de Penman Monteith y los del tanque evaporímetro clase A. En meses lluviosos la ETo del tanque evaporímetro presentó valores más altos que la ETo de Penman Monteith; y en meses con poca o ninguna precipitación los resultados se dieron a la inversa. La diferencia entre ambos métodos fue de 64,19 mm, siendo mayores los registros totales del tanque evaporímetro clase A.

Para que los valores del tanque evaporímetro artesanal sean semejantes a los del tanque evaporímetro clase A, se ha determinado que se requiere multiplicar su registro por un factor de ajuste de 0,8874.

Los valores medios del coeficiente de cultivo determinados en el ensayo fueron: fase inicial 0,66; fase de desarrollo del cultivo 0,77; fase de mediados de temporada 0,97; y, fase final 0,81.

A través del análisis de la ETo, ETc y Kc; utilizando el riego por aspersión, y para las condiciones dadas en el experimento, se determinó que la necesidad de agua de la achira durante su ciclo de cultivo es de 7427,69 m³/ha; es decir 742,77 mm/ha; y las necesidades de riego fueron de 5543,81 m³/ha (554,38 mm/ha).

Las demandas hídricas de la achira cuando se utilizó como referencia máxima 20 centibares fue de 7305,57 m³/ha (730,46 mm/ha); y una exigencia de riego de 4907,86 m³/ha (490,79 mm/ha). Para cubrir este requerimiento de riego fueron necesarios 16 riegos.

Las demandas hídricas de la achira cuando se utilizó como referencia máxima 30 centibares fue de 6676,36 m³/ha (667,64 mm/ha); y una exigencia de riego de 4278,65 m³/ha (427,87 mm/ha). Para cubrir esta demanda de riego fueron necesarios 15 riegos.

Las necesidades hídricas de la achira cuando se utilizó como referencia máxima 40 centibares fue de 6361,75 m³/ha (636,18 mm/ha); y una exigencia de riego de 3964,04 m³/ha (396,40 mm/ha). Para cubrir este requerimiento de riego fueron necesarios 13 riegos.

Se ha podido determinar que la cantidad y oportunidad de agua aplicada al cultivo es determinante para conseguir buenos rendimientos; la cantidad de almidón lograda en todos los tratamientos es superior a la que consigue el productor local.

Para las condiciones dadas en el presente trabajo, se requirió un periodo de tiempo de riego permanente que cubrió 5 meses, desde mayo a septiembre; el resto de tiempo fue cubierto por las lluvias caídas en la zona.

La mejor tensión de humedad para utilizar en el cultivo de achira fue la de 40 centibares al haber alcanzado el mayor rendimiento de 8412,11 kg/ha (185,0 quintales/ha); y mayor concentración de almidón (14,61%). No siendo necesario utilizar tensiones menores y por tanto frecuencias de riego más cortas.

Los rendimientos por hectárea alcanzados para todos los tratamientos son superiores a los reportados en otras regiones del país y similares a los mejores rendimientos obtenidos en Colombia.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar una investigación similar del cultivo, haciendo variaciones en la época de siembra. Al parecer sembrando en el mes de octubre se puede reducir el ciclo de cultivo y posiblemente incrementar la acumulación de mayor cantidad de almidón en el corma, ya que se cosecharía en los meses secos.

Investigar con tensiones de humedad más altos, posiblemente partir de 40 cbs, 60 cbs y 80 cbs, utilizando el nivel de fertilización aplicado en este ensayo en relación con los resultados de laboratorio de suelos.

Investigar el nivel de correlación que existe entre los procedimientos para determinar la evapotranspiración de referencia para los sectores más representativos de la provincia de Loja; específicamente los métodos de Penman Monteith versus el del tanque evaporímetro clase A.

Para los diseños de sistemas de riego en donde esté incluido el cultivo de la achira, se puede partir con los datos generados en esta investigación. No se cuenta con otra información generada al respecto.

Realizar investigaciones similares, en otros pisos climáticos, otros tipos de suelo y de forma participativa con los productores.

REFERENCIAS CONSULTADAS

1. Álvarez Hernández, Orlando et all (2014). La radiación solar global en la provincia de Loja, evaluación preliminar utilizando el método de Hottel. <https://doi.org/10.17163/ings.n11.2014.03>.
2. Arcos Jacome, Roberto Xavier (2015). *Gastronomía; preparación de alimentos; administrador gastronómico; almidón de achira*. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16047>
3. Carmona Facundo (2018). *Evaluación de dos modelos para la estimación de la evapotranspiración de referencia con datos CERES*. Artículo . Revista de Teledetección ; vol. 51. <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8941>
4. Cely, G. (2010). *Determinación de Parámetros de Riego para el Cultivo de la Cebolla de bulbo en el distrito de riego del Alto Chicamocha*. Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ciencias Agrarias. Bogotá. Pp. 100
5. Caicedo Guillermo. (2014). El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. III. Achira (*Canna edulis*). http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/11_El_cultivo_achira_alternat_produc.pdf
6. Calera Alfonso, Campos Isidro y Garrido Jesús (2016). Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. In Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información.
7. FAO (2006). Allen Richard y otros. *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje N°56.
8. Gallardo, Hilario (2013). *Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario*. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.5 no.2 Texcoco.
9. Gomariz Castillo Francisco (2016). *Efecto de la subdivisión de cuencas y la estimación de variables climáticas en la simulación de componentes de balance hídrico en cuencas semiáridas mediterráneas*. Instituto Euromediterráneo del Agua, CARM / Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Murcia. <http://orcid.org/0000-0003-4306-6643>

10. Martin, Edward (2017). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego*. 8 pp. University of Arizona Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station Bulletin. <http://uacals.org/65y>
11. Medrano, Hipólito (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas Investigaciones Geográficas, núm. 43, pp. 63-84 Universidad de Alicante Alicante, España. E-ISSN: 1989-9890
12. Saavedra Mora David (2018). *Análisis de índices de vegetación en el cultivo de arroz en la finca la Tebaida del municipio de Campo Alegre*. In revista agropecuaria y agroindustrial la angostura centro de formación agroindustrial la angostura No. 5. Huila, Colombia. ISSN: 2422-0493.
13. Sánchez Céspedes, Ima Sumac (2015). *Agrobiodiversidad y soberanía alimentaria en la parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi* . <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7521>.
14. Suquilanda Valdivieso Manuel B (2016). *Análisis comparativo de los modelos de producción agroalimentaria del Ecuador* in Seminario teoría y práctica de la soberanía alimentaria.
15. Tony Boicet-Fabre, M.Cs. (2018). *Evaluación de diferentes índices de tolerancia a la sequía basado en análisis multivariados*. Cultrop vol.39 no.1 La Habana. versión On-line ISSN 1819-4087
16. T Boicet-Fabre, M Baldaquín-Hernández (2018). *Evaluación de diferentes índices de tolerancia a la sequía basado en análisis multivariados*. Artículo científico versión impresa ISSN 0258-5936 versión On-line ISSN 1819-4087
17. Olmedo Vázquez, Víctor Manuel (2018). *Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México)*. <http://hdl.handle.net/10396/16301>
18. Vega Ordax, Esteban (2018). *Evaluación de modelos típicos de radiación solar su efecto sobre las estimaciones de evapotranspiración de referencia de necesidades de riego en las Islas Baleares y la Comunidad Valenciana*. <http://hdl.handle.net/11201/149252>

REFERENCES CONSULTED

1. Álvarez Hernández, Orlando et all (2014). Global solar radiation in the province of Loja, preliminary evaluation using the Hottel method. <https://doi.org/10.17163/ings.n11.2014.03>.
2. Arcos Jacome, Roberto Xavier (2015). Gastronomy; food preparation; gastronomic administrator; achira starch. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16047>
3. Carmona Facundo (2018). Evaluation of two models for the estimation of reference evapotranspiration with CERES data. Article . Remote Sensing Magazine; vol. 51. <http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8941>
4. Cely, G. (2010). Determination of Irrigation Parameters for the Cultivation of Bulb Onion in the irrigation district of Alto Chicamocha. National university of Colombia. Master in Agricultural Sciences. Bogota Pp. 100
5. Caicedo Guillermo. (2014). Achira cultivation: Alternative production for the small producer. III. Achira (*Canna edulis*). http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/11_El_cultivo_achira_alternat_produc.pdf
6. Calera Alfonso, Campos Isidro and Garrido Jesús (2016). Determination of water and irrigation needs through meteorological stations and time series of multispectral images. In Technical day of innovation in irrigation management through agroclimatic networks, remote sensing and information systems.
7. FAO (2006). Allen Richard and others. Crop Evapotranspiration. Guides for the determination of crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Study No. 56.
8. Gallardo, Hilario (2013). Water conservation techniques in gravity irrigation at the plot level. Rev. Mex. Science. Agríc vol.5 no.2 Texcoco.
9. Gomariz Castillo Francisco (2016). Effect of the watershed subdivision and the estimation of climatic variables in the simulation of water balance components in Mediterranean semi-arid basins. Euro-Mediterranean Water Institute, CARM / University Institute of Water and Environment, University of Murcia. <http://orcid.org/0000-0003-4306-6643>

10. Martin, Edward (2017). Methods for Measuring Soil Moisture for Irrigation Programming. 8 pp. University of Arizona Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station Bulletin. <http://uacals.org/65y>
11. Medrano, Hipólito (2007). Efficiency in the use of water by plants Geographic Investigations, no. 43, pp. 63-84 University of Alicante Alicante, Spain. E-ISSN: 1989-9890
12. Saavedra Mora David (2018). Analysis of vegetation indices in rice cultivation at the La Tebaida farm in the municipality of Campo Alegre). In the agricultural and agroindustrial magazine La Angostura Center for Agroindustrial Training La Angostura No. 5. Huila, Colombia. ISSN: 2422-0493.
13. Sánchez Céspedes, Ima Sumac (2015). Agrobiodiversity and food sovereignty in the Peñaherrera parish, Cotacachi canton. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7521>.
14. Suquilanda Valdivieso Manuel B (2016). Comparative analysis of the agro-food production models of Ecuador in Seminar theory and practice of food sovereignty.
15. Tony Boicet-Fabre, M.Cs. (2018). Evaluation of different drought tolerance indices based on multivariate analyzes. Cultrop vol.39 no.1 Havana. On-line version ISSN 1819-4087
16. T Boicet-Fabre, M Baldaquín-Hernández (2018). Evaluation of different drought tolerance indices based on multivariate analyzes. Scientific article printed version ISSN 0258-5936 On-line version ISSN 1819-4087
17. Olmedo Vázquez, Víctor Manuel (2018). Determination of management indicators in the modules of the Irrigation District No. 041, Río Yaqui (Sonora, Mexico). <http://hdl.handle.net/10396/16301>
18. Vega Ordax, Esteban (2018). Evaluation of solar radiation thermal models and their effect on estimates of reference evapotranspiration and irrigation needs in the Balearic Islands and the Valencian Community. <http://hdl.handle.net/11201/149252>