

CULTIVOS PROTEGIDOS

ARTÍCULO ORIGINAL



<http://opn.to/a/hTYYC>

Tecnología integrada para cultivos protegidos en la Mesa de Guanipa, Venezuela

Integrated technology for protected crops at Mesa de Guanipa, Venezuela

Dr.C. Jorge García^{*}, MSc. Irania Quevedo¹, MSc. Maritza Malave¹¹, Dr.C. Pablo M. Hernández¹, MSc. Lázara Rangel¹, Ing. Remigio Durán¹¹¹¹

¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹¹Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”, El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.

¹¹¹¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. Se propone una tecnología para la producción de cultivos protegidos en áreas de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela, tomando en cuenta la caracterización de las variables meteorológicas, propiedades físico-químicas y mecánicas de los suelos y la evaluación tecnológica de la casa de cultivos. Se concluye que la casa de cultivos protegidos de la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui se localiza en un área plana, con estructura de material reciclable de la industria petrolera, presenta forma de capilla a dos aguas, resistente, en posición perpendicular a la dirección del viento, orientación norte-sur y dimensiones de 12 por 50 m adecuadas para las condiciones de la zona. Se recomienda una cubierta superior de superficies blancas de polietileno para mejorar la reflexión de la luz y su aprovechamiento, mallas anti-insectos de 50 mesh en sus laterales y el uso de malla sombra al 30 ó 35 % para disminuir la radiación solar incidente. Dispondrá de 6 canteros y 7 pasillos de uno y 0.86 m de ancho, respectivamente y 50 m de largo. Las fuentes energéticas a emplear en las labores de cultivo son manual, tractores de media potencia y motocultores. Dado el carácter arenoso de estos suelos contará con riego localizado para el mejor aprovechamiento del agua y los nutrientes, del cual se hacen los cálculos del diseño hidráulico y de los costos, enfocado en el tipo de suelos, los cultivos de interés y la disponibilidad y la calidad del agua del riego.

Palabras clave: variables meteorológicas, propiedades físico-químicas y mecánicas, sistema de riego por goteo, diseño agronomico e hidráulico

ABSTRACT. A technology is proposed for the production of protected crops in areas of the Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela, taking into account the characterization of the meteorological variables, physical-chemical and mechanical properties of the soils and the technological evaluation of the crop house. It is concluded that the greenhouses of the José Antonio Anzoátegui Territorial Polytechnic University is located in a flat area, with a structure of recyclable material from the oil industry, has a gable-shaped chapel shape, resistant, perpendicular to the direction of the wind, north-south orientation and dimensions of 12 by 50 m suitable for the conditions of the area. A top cover of white polyethylene surfaces is recommended to improve light reflection and its use, 50 mesh anti-insect meshes on its sides and the use of 30 or 35% shade mesh to reduce the incident solar radiation. It will have six seedbeds and seven alley of one and 0.86 m wide, respectively and 50 m long. The energy sources to be used in the cultivation work are manual, medium power tractors and motorcultores. Given the sandy nature of these soils, it will have localized irrigation for the best use of water and nutrients, from which the calculations of the hydraulic design and costs are made, focused on the type of soils, the crops of interest and the availability and irrigation water quality.

Keywords: meteorological variables, physicochemical and mechanical properties, drip irrigation system, agronomic and hydraulic design.

*Autor para correspondencia Jorge García, e-mail: jgarcia@unah.edu.cu

Recibido: 20/08/2019.

Aprobado: 06/12/2019.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos es uno de los grandes desafíos de la agricultura a nivel mundial. Tales propósitos están indisolublemente ligados al empleo y desarrollo de las tecnologías en el campo de la Ingeniería Agrícola. Las ventajas del empleo de dichas herramientas es la de elevar la producción y mejorar las técnicas de cultivo, lográndose con ello aumentar la rentabilidad de las explotaciones, comodidad de laboreo y favorecimiento de la seguridad alimentaria, a la vez que permite enmarcarse en la agricultura competitiva (FAO, 2002).

La agricultura sostenible ha promovido la necesidad de introducir cambios en la agricultura convencional para hacerla ambiental, social y económicamente viable Altieri (2001) y es hoy reconocida como un fuerte movimiento internacional que dirigido a la búsqueda de un modelo alternativo de desarrollo a la agricultura moderna basado en la protección de la salud humana, los agro ecosistemas y la seguridad socioeconómica (Hernández, 2000).

Si bien no todas las regiones presentan características idóneas para la producción de alimentos a través de la explotación agrícola, existen avances tecnológicos que han hecho posible a partir del manejo de ciertas variables edafoclimáticas acondicionar pequeñas áreas que permitan la producción de manera intensiva, es decir, producción de alimentos con independencia del clima (Casanova *et al.*, 2004).

Una característica de muchas zonas tropicales es la presencia de dos estaciones bien definidas, una seca y otra lluviosa, significando que unos cultivos se producen muy bien en la época seca, sin embargo, en la época de lluvias las incidencias de enfermedades hacen muy costosa la producción por el gasto de agroquímicos o por el deterioro de la calidad de los frutos. Estos y otras causas que originan la caída de la producción hacen que una gran extensión de territorio venezolano con un potencial extraordinario está actualmente al margen del proceso productivo (Briceño, 2018).

Los cultivos protegidos son tecnologías agrarias modernas y promisorias que constituyen fortalezas y alternativas de producción para aprovechar mejor los ciclos de cultivos (Paneque *et al.*, 2018). La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, esta protección permite controlar la temperatura, la cantidad de luz y el control químico y biológico para proteger el cultivo (Hernández, 2000).

La implementación de estas tecnologías en Venezuela se inicia en los últimos años de la década del 80 y básicamente por iniciativa privada en lugares muy puntuales, continuándose hasta la década de los 90 con construcciones elaboradas de diferentes materiales y diseños, incluso creando modelos muy particulares para cada región (Juárez *et al.*, 2011; Hueso *et al.*, 2012).

Los criterios para la selección y normas mínimas para lograr microambientes óptimos para el crecimiento de las plantas en función del clima local son aspectos poco estudiados y la información sobre variaciones de parámetros micro ambientales, fotosíntesis, transpiración de los cultivos en distintas regiones del país es muy escasa (Jaimez *et al.*, 2005). Las características

de las casas de cultivos existentes en Venezuela están diseñadas, en su gran mayoría, para regiones con alturas por encima de los 1500 m, donde las condiciones edafoclimáticas son muy distintas a las condiciones de la zona de la Mesa de Guanipa en el estado Anzoátegui, ubicada a 285 m.s.n.m.

En las áreas que conforman la Mesa de Guanipa confluye un patrón distintivo de suelos y de las variables meteorológicas que limitan la diversificación e intensidad de las actividades agrícolas, las cuales no están complementadas en la producción en ambientes controlados que permitiría, en determinada etapa, garantizar el abastecimiento estable para el consumo.

Por ser en la región de la Mesa de Guanipa el sistema de producción de cultivos protegidos relativamente poco explotado y de características diferentes a la producción abierta INDER/INIA (2012), no existen definidos aperos, máquinas, ni tecnologías para enfrentar la ejecución de estas labores, ya que la mecanización en la Mesa de Guanipa generalmente está basada en el empleo de tractores de potencia media y alta, los que por sus características no pueden trabajar en estas instalaciones; lo mismo sucede con los aperos que forman agregado con ellos.

En este sentido se hace una propuesta de tecnología integrada para la producción de hortalizas en la casa de cultivos de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui” de la región de la Mesa de Guanipa.

MÉTODOS

Área experimental

Localización

El área de investigación se corresponde con la que ocupa la casa de cultivo de La Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui” (UPTJAA) ubicada en la ciudad de El Tigre, capital del municipio Simón Rodríguez, al Sur del estado Anzoátegui. Sus coordenadas geográficas son los 8°50'46" LN y 64° 50' 59" LO. La misma se halla equidistante al río Orinoco y al mar Caribe, en la Mesa de Guanipa, cruzada por el río Tigre, a una altitud de 285 msnm.

Clima

La Mesa de Guanipa se ubica dentro de la zona de vida conocida como Bosque Seco Tropical según el Sistema de Clasificación de Holdridge (Comerma y Chirinos, 1997). El periodo seco se presenta desde noviembre hasta abril, con valores mínimos de precipitación en los meses de enero, febrero y marzo, durante esta estación la humedad relativa es baja y la evaporación alcanza valores máximos induciendo al déficit hídrico. La temperatura presenta poca variación a lo largo del año, las máximas velocidades del viento se presentan durante estos meses, con valores de 16,2 a 21,6 km/h (Olivares *et al.*, 2012).

Las variables meteorológicas para la caracterización climática se obtuvieron de la Estación del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), El Tigre. En sus análisis se emplea la correlación entre variables y el método de series temporales donde las observaciones están ordenadas respecto al tiempo y sucesivas observaciones son generalmente depen-

dientes, la tendencia es la componente central de una serie temporal, que indica cuál es la dirección de su movimiento, de este análisis se obtienen los gráficos de secuencia de tiempo que muestra la tendencia en los próximos 10 años de las variables meteorológicas generados a partir de un modelo autoregresivo de media móvil, de gran ayuda a la hora de conocer o predecir su comportamiento en futuros escenarios. También se consulta el balance hídrico promedio de la zona de la Mesa de Guanipa en el periodo 1998-2014, adaptado de los registros meteorológicos diarios de la Estación climatológica del Servicio de Agro meteorología - INIA, El Tigre.

Suelo

El suelo del área bajo estudio (Figura 1) clasifica en el orden Entisol, subgrupo Quarzipsamments (USDA Soil Taxonomy) y Arenosols (World Reference Base), se correlaciona con los Suelos Poco Evolucionados de la Clasificación Genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999). En su caracterización

(600 m² de la casa de cultivo) se evaluaron aspectos como la homogeneidad, pendiente y la cobertura vegetal. Un muestreo en forma de zigzag a lo largo y ancho del terreno apoya la determinación de la Tabla 1, realizadas en los laboratorios de suelos del INIA.



FIGURA 1. Vista de perfil de suelo de la parcela experimental de la UPTJAA.

TABLA 1. Propiedades físicas y químicas del suelo de la casa de cultivos protegidos de la UPTJAA

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	M.O (%)	pH _{agua}	C.E (ds/m)	Da (g/cm ³)	θ _{Da} (g/g)
84	10	6	315	133	3,92	7,4	0,08	1,50	0,15

La resistencia a la penetración (RP) fue medida con el penetrómetro dinámico de cono (PDC) de punta cónica con área de la base 5,06 x10⁻⁰⁴ m², ángulo del cono de 60°, distancia de caída libre de 0,6 m y masa total y de impacto de 7 y 2,3 kg, respectivamente. Se registraron lecturas del número de golpes hasta los 30 cm de profundidad, donde las condiciones del suelo así lo permitían. Las lecturas obtenidas fueron traducidas a valores de RP mediante la formulación 1 citada por Stolf *et al.* (2005), evaluada para suelos de la región por García *et al.* (2016).

$$RP = \frac{M}{(M + m)} \frac{Mgh}{Ax} + (M + m) \frac{g}{A}$$

donde:

A- área de la base del cono (m²)

g- aceleración de la gravedad (m/s²)

h –altura de caída (m)

M-masa de impacto (kg)

m-masa del penetrómetro sin considerar M (kg)

x-distancia de penetración por golpes o efectiva, es decir los centímetros de suelo sondeados por cada golpe de la masa de impacto en caída libre (cm/golpes).

Calidad del agua

La calidad del agua en San José de Guanipa, estado Anzoátegui, Venezuela fue recientemente evaluada por Silguera *et al.* (2014) mediante el análisis físico-químico de los parámetros de calidad de estas aguas, comparándose los valores con las normas de calidad establecidas en la Gaceta Oficial N° 36.395/1998 de la República Bolivariana de Venezuela (Tabla 2).

TABLA 2. Parámetros de calidad del agua en San José de Guanipa, estado Anzoátegui (Fuente: Silguera *et al.* (2014))

Parámetros Media	Desv.	C.V.
Alcalinidad total (mg/L)	15,5	1,7
Calcio (mg/L)	6,1	1,5
Cloruros (mg/L)	21,8	1,8
Conductividad específica a 25 °C	27,2	4,9
Dióxido de carbono libre (mg/L)	194,7	55,7
Dureza total (mg/L)	11,7	4,6
Hierro total (mg/L)	0,1	0,0
Índice de Langelier	-4,2	0,2
pH	5,2	0,1
Sólidos totales (mg/L)	13,7	2,4
Sulfato (mg/L)	3,22	0,86
Turbiedad (N.T.U.)	1,23	0,70

Casa de cultivos

Para su evaluación se toman en cuenta aspectos relacionados con las condiciones técnica y de explotación como orientación de la estructura relacionada con la dirección del viento y la ventilación, los tipos de cubierta superior y lateral, la altura relacionada con el movimiento de aire caliente y los materiales estructurales, siguiendo la referencia de (Jaimez *et al.*, 2005).

Crterios que fundamentan la propuesta de metodología

La propuesta dirigida a la producción durante todo el año de hortalizas toma en cuenta las condiciones técnicas y de explotación de la casa de cultivo de UPTJAA, las particularidades del clima de la región, el suelo, requerimientos hídricos, sistema y calidad del agua de riego y grado de mecanización.

Para la ejecución de esta fase, se toman como referentes las investigaciones realizadas en producción hortícola del INIA, también datos de referencia de esta institución no publicados, provenientes de investigaciones realizadas en las parcelas experimentales de la UPTJAA bajo riego por aspersión y a campo abierto durante los últimos 15 años.

Crterios de selección:

- Las especies a desarrollar, hortalizas, que en su gran mayoría exhiben desarrollo radicular hasta los 30 cm.
- La superficie a cultivar es pequeña.
- El sistema de siembra en camellones.
- Las características particulares del suelo en cuanto a la

pendiente, tipo y patrón de propiedades.

e) Sistema de siembra bajo protección donde se pueden controlar los factores climáticos.

f) Sistema de riego

g) Tecnologías de mecanización para ejecutar las diferentes labores agro-técnicas en las casas de cultivo conformadas sobre la base del tamaño de las naves de cultivo protegido, espacios libres para el trabajo de los equipos, disponibilidad de mano de obra, los aperos o máquinas para cumplimentar los trabajos y posibles fuentes energéticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática

Aún en los manejos más eficientes no se logra la total independencia de las condiciones ambientales externas, estas como tal a partir del comportamiento de cada una de las variables y sus relaciones físicas modulan e imponen el régimen climático hacia el interior de estos ambientes protegidos.

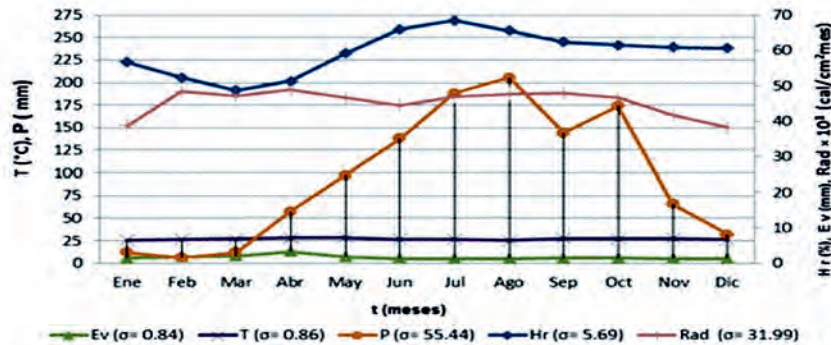


FIGURA 2. Comportamiento mensual de la humedad relativa, evaporación, temperatura media, precipitación y la radiación.

En la Figura 2 se representa el comportamiento mensual de la temperatura, la precipitación, humedad relativa, evaporación y radiación a partir de 16 años de registros meteorológicos (1998-2014). Entre paréntesis se muestra el valor de desviación estándar. La temperatura media mantiene una tendencia relativamente constante, sus valores promedios máximos (28,68 °C) y mínimos (25,27 °C), apenas fluctúan alrededor de dos grados, encontrándose estos valores espaciados en un rango de 10 años. Un comportamiento más irregular se observa para la humedad relativa, cuyos picos extremos se asocian a los períodos en que se suceden las variaciones extremas inherentes a las precipitaciones.

De la propia figura se observa que el comportamiento de la precipitación constituye el registro meteorológico sujeto a la mayor variabilidad, tanto intra como inter-anual. Puede observarse que, las precipitaciones extremas se dan a inicios y finales del periodo analizado. En tanto, en la zona intermedia del transcurso de este período, equivalente a un rango promedio de 13 años, se suceden fluctuaciones del total anual que denotan variaciones a escalas temporales menores.

El patrón de precipitaciones es el típico de la región de la Mesa de Guanipa, conforme al que describe Olivares *et al.* (2013), con un periodo lluvioso desde mayo hasta octubre con valores máximos en los meses julio y agosto, durante este

período la humedad relativa es alta. En tanto, el periodo seco se denota de la figura desde noviembre hasta abril, con valores mínimos de precipitación en los meses de enero, febrero y marzo, durante la cual la humedad relativa es baja y la evaporación alcanza sus valores máximos, induciendo al déficit hídrico.

Al analizar el comportamiento de la radiación se aprecian pocas variaciones por lo que no es factor limitante para la producción agrícola, evidenciando que en el trópico la radiación durante todo el año varía muy poco (Graedel y Crutzen, 1993).

La Figura 3 representa las secuencias de tiempo para la humedad relativa, precipitación y la temperatura del registro de datos considerado. La precipitación muestra una ligera tendencia hacia una disminución de la frecuencia en los próximos 10 años, contabilizado a partir del último año de registros procesados, en este caso el 2014, de manera tal que el algoritmo pondera la estabilidad relativa intermedia por espacio de 10 años (alrededor de 2001 y hasta 2010) de las precipitaciones y sus decrecimientos (1998 – 2000) y ascensos (2010 – 2014) en los periodos iniciales y finales del comportamiento analizado.

La temperatura y la humedad relativa denotan un comportamiento inverso, es decir, mientras la humedad relativa exhibe una tendencia al aumento, la temperatura apunta a disminuir. El resultado de la Tabla 3 justifica, tentativamente, las tendencias

temporales inversas entre la humedad relativa y la temperatura, otros análisis de correlación corroboran el nexo existente en la práctica entre las variables meteorológicas implicadas, lo cual puede arrojar criterios acerca de los manejos presentes y futuros en ambiente controlados.

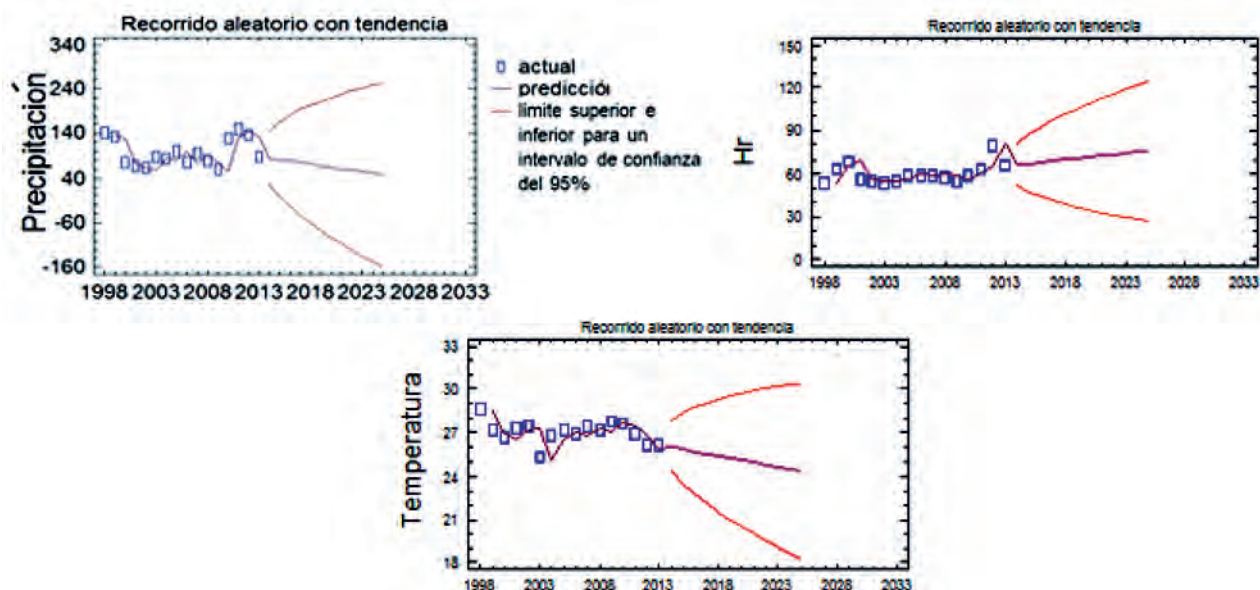


FIGURA 3. Representación de la secuencia de tiempo para la precipitación, la humedad relativa y la temperatura en la Mesa de Guanipa.

TABLA 3. Correlaciones entre las variables meteorológicas registradas en la Estación climática del INIA, El Tigre

	Hr	Ev	T	Rad	P
Hr	1	-,719(**)	-0,309	-0,132	0,813(**)
Ev		1	0,503	0,435	-0,385
T			1	0,304	-0,126
Rad				1	0,384
P					1

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Caracterización del suelo

La casa de cultivos protegidos de la UPTJAA se dispone en un terreno plano, sin pedregosidad de textura gruesa, presentando un escaso grado de enyerbamiento, justificadas por las propias particularidades del suelo y del período en que se enmarca. Se evaluó la resistencia a la penetración (RP) del suelo de la casa de cultivos (Tabla 4), destacándose los valores extremos del número de golpes y la RP, así como el mínimo de la penetración efectiva.

TABLA 4. RP promedio medidos con el PDC en la casa de cultivo de la UPTJAA

	No. de golpes	Penetración efectiva (10 ² m/golpes)	RP (MPa)
N	17	17	17
Mín	4	0,08	0,81
Máx	65	1,25	11,08
Media	32,59	0,4	5,62

También la distribución en profundidad de los valores promedios de la RP denota que el suelo ofrece una elevada RP a los bajos niveles de humedades del suelo y para profundidades usualmente exploradas por las raíces de los cultivos. Los mayores valores de resistencia a la penetración se infieren con posterioridad a los 10 cm, inaccesibles al PDC empleado, reafirmando las restricciones físicas del suelo para el crecimiento y desarrollo de las raíces en toda el área experimental, ello implica necesariamente realizar prácticas mecanizadas para solucionar tales inconvenientes. Hueso *et al.* (2012) y García *et al.* (2018), reportan tendencia a las mayores RP entre los 10 y 20 cm e igual tendencia para la densidad aparente y lo atribuyen a la presencia de una capa compacta.

Evaluación tecnológica de la casa de cultivos

Se resumen las características de la casa de cultivo de la UPTJAA en el momento de realizar la investigación (Tabla 4), la cual no se hallaba en explotación.

TABLA 5. Características de la casa de cultivo de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”.

Indicador	Unidad de medida	Dato
Diseño	-	Tipo capilla
Material estructural	-	Acero
Largo	m	50
Ancho	m	12
Altura	m	3 - 4*
Cubierta**	-	-
Área total	m ²	600

*Referida al punto más alto, ** la anterior solo duro 2 años puesto que no satisfacía los requerimientos para ello.

La instalación se encuentra diseñada bajo la forma del tipo capilla a dos aguas, siendo su orientación este-oeste. La misma se soporta sobre 20 pilares de cemento de 20 m³, divididos en 10 en cada costado, espaciados entre sí 5 m. El diseño tipo capilla es el primer modelo que generalmente adoptan los agricultores, el cual funciona muy bien en regiones con altas precipitaciones.

Su orientación es perpendicular a la dirección de los vientos prevalecientes de modo que se favorece una mayor ventilación por sus ventanas laterales, evitando la incidencia de las altas temperaturas de la región, lo cual satisface los criterios técnicos reportado por Vassiliou *et al.* 2000a, 2000b y Jaimez *et al.* (2005) en cuanto a las características que deben tener las casas de cultivos de los trópicos localizadas entre los 0 y 1500 m.s.n.m., específicamente enfocado en el caso de Venezuela.

Su material estructural es otro aspecto positivo en su concepción original, una vez que minimiza el principal inconveniente de este diseño asociado con la resistencia a los vientos de la región. Condicionado a la región donde se construye, su estructura es a base de tubos de acero con 1 cm de espesor y diámetro interior de 7,5 cm, reciclados de la industria petrolera que le ofrecen firmeza y resistencia a este diseño, siendo perfectamente generalizable en el ámbito productivo regional.

En otros países como el caso de México existe una norma para el diseño de la estructura denominada NMX-E-255-CN-CP-2008 según Juárez *et al.* (2011), cuyas especificaciones incluyen el aspecto económico, resistencia mecánica, mantenimiento, adaptabilidad entre otros, aunque se subraya que es importante tomar en cuenta que no son las tradiciones nacionales las que deben condicionar el diseño de la casa de cultivos, sino las condiciones climáticas particulares de la zona en que se adopta este tipo de proyectos.

En cuanto a las dimensiones no existen evaluaciones que determinen un largo por ancho ideal. Sin embargo, la relación entre el ancho y el largo determina que tan caliente o frío es una casa de cultivos. No se aconseja que ninguna casa de cultivo mida más de 100 metros de largo, ni que tenga más de 33 metros de ancho, ello es razonable puesto que dificultaría manejos tales como el hecho de poder garantizar la uniformidad del riego a lo largo de canchales de esas dimensiones.

Las alturas más comunes son 2,50 y 3,50 metros, aunque puede ser igual o superior a los 3,50. Su parte más alta tiene 4 m, lo cual clasifica dentro del rango de altura permisible, no menor de los 4 m para las condiciones de Venezuela Jaimez *et al.* (2005), garantizándose de esta manera una mejor mezcla del aire y menores variaciones diurnas de la temperatura, donde los valores promedios durante todo el año son relativamente constantes como en esta región. A mayor altura, mayor será el gradiente térmico adentro, eso quiere decir que el aire caliente se moverá hacia arriba y el aire propiciará condiciones más frescas en las proximidades del cultivo.

En lo que respecta a la ventilación, para casas de cultivo de construcción individual se recomienda que presente ventanas laterales para una ventilación natural para el control del incremento de la temperatura (Jaimez *et al.*, 2005).

Dado el caso, para construcciones multi-modulares deben tener además aperturas en el techo que puedan abrirse y cerrarse,

además debe garantizar que al menos un 20 % de la superficie del suelo sea reflejada como el área de las ventanas laterales con la finalidad de una mejor mezcla de aire en el interior en horas del mediodía, momento en el que las temperaturas son altas debido a las altas radiaciones y coexisten menores concentraciones de CO₂.

El prototipo de análisis no cuenta atinadamente con ventanas cenitales para aireación, debido que al momento de su construcción se tomó en cuenta proveerla de una ventilación natural lateral acorde con la velocidad y dirección de los vientos en la zona y de una estructura tipo capilla de una sola nave, la cual no presenta dificultad en el tipo de ventilación ya mencionado.

Se destaca, de manera negativa, el hecho que no cuenta con un sistema de riego acorde con las exigencias de establecer un régimen de producción con rubros hortícolas durante todo el año, siendo la propuesta de implementación de un sistema de riego uno de los ejes centrales de esta investigación, cuya tecnología integrada se delinea a continuación.

Propuesta de tecnología para cultivos protegidos

Casa de cultivos

Teniendo en cuenta que las mallas antiviral y el polietileno son las cubiertas más usadas en el trópico y apoyados en el reporte de Jaimez *et al.* (2005) se recomienda como cubierta superior el uso de superficies blancas de polietileno para mejorar la reflexión de la luz y su aprovechamiento, puesto que estos materiales difieren muy poco, desde el punto de vista de la transmisión de la radiación solar, la elección del posible usuario será determinada fundamentalmente por su duración, su absorción o reflexión del infrarrojo largo y sus propiedades mecánicas.

Lo más importante es mantener cubierta permanente, además que evita la incidencia directa del sol también se favorece la conservación del suelo, de manera que los golpes de la lluvia no lo erosionen, lo cual contribuye a evitar la evaporación y la formación de la costra superficiales después del riego y la lluvia.

Lateralmente se utilizarán mallas anti-insectos de 50 mesh (malla antibemisia), con el uso además de malla sombra al 30 ó 35 % para disminuir la radiación solar incidente sobre el área de cultivo en la parte interna, en caso que las temperaturas sean muy altas. Esta es una malla que se utiliza para evitar la entrada de la mosca blanca, áfidos, minadores y otros diminutos insectos a umbráculos, casas de cultivos y túneles; usada para proteger diversos cultivos, entre otros, hortalizas, plantas de especies, flores y viveros.

La malla esta tejida con monofilamentos fuertes producidas con un material especial resistente a los rayos ultravioletas, lo que le proporciona una larga vida; es reforzada en los bordes, flexible, liviana y fácil de extender. Estas mallas no deben necesariamente tener carácter permanente, o sea deben ser plegables, puesto que coadyuva a contrarlar la temperatura que de conjunto con la escasez de elementos estructurales dentro de la casa favorece el desarrollo de labores mecanizadas. En la Tabla 6, tentativamente se relacionan el listado de materiales, cantidades y precios al momento del estudio. Las características del polietileno que obedece a este precio son: multicapa de 200 micras, con aditivos ultravioleta y color transparente lechoso.

TABLA 6. Relación de materiales, cantidad y precios referidos a bolívares fuertes relacionados con la propuesta de la cubierta superior y lateral de la casa de cultivos protegidos

Materiales	U/M	Cantidad	Precio bf.	Costo total bf.
Malla sombra 35 % aditivo ultravioleta	m ²	1 bobina de 400 m ² (100 x 4)	50	20 000
Mallas anti insectos de 50 mesh	m ²	1 bobina (200 x 6)	-	600
Cubierta de polietileno	m ²	1 bobina de (100 x 6 m)	-	600

Suelos

Las deficiencias físicas de estos suelos arenosos son su alta permeabilidad y su baja capacidad de retención del agua, sin embargo, el suelo de la casa de cultivos, y de la Mesa de Guanipa en general, presenta ciertas ventajas para su explotación en ambientes protegidos, ya que son fáciles de trabajar, nunca acumulan exceso de humedad y pueden resultar más sanos frente a algunas enfermedades propias de las hortalizas.

En el cultivo protegido el costo de los abonos es relativamente pequeño en comparación con el costo total de producción; la productividad es alta y las raíces utilizan sólo un volumen reducido de suelo, por ello, se puede calcular el suministro de acuerdo con las necesidades de las plantas, auxiliados en tablas de extracciones para calcular el equilibrio correcto de sodio, fósforo y potasio y las cantidades de abono a aplicar.

En el cultivo protegido no es suficiente la práctica de las técnicas agronómicas más corrientes; el suelo necesita una

preparación y un manejo especial, por ello, paralelamente a la propuesta que toma en cuenta el diseño, construcción de las casas y las exigencias climatológicas, ha sido necesario conformar las tecnologías de mecanización para ejecutar las diferentes labores agro-técnicas en las casas de cultivo.

Teniendo en cuenta las condiciones específicas que influyen en los medios técnicos, en especial el tamaño de las naves y tipos de cultivo protegido, espacios libres para el trabajo de los equipos, disponibilidad de mano de obra, etc. se definieron las labores a realizar, los aperos o máquinas para cumplimentar los trabajos y las posibles fuentes energéticas, ello toma como referentes experiencias de investigadores cubanos (Villarino *et al.*, 2007).

Las fuentes energéticas en el caso de la mecanización de las casas de cultivo protegido son hombres, los tractores de baja potencia y los motocultores, siendo estas últimas las más recomendables, en base a ello se elabora una propuesta semi-mecanizada para ambientes protegidos (Tabla 7).

TABLA 7. Resumen de las labores principales y de las exigencias a los medios mecanizados

Labor	Equipo	Apero	Exigencia	Observación
Subsolar	Tractor Veniran 585	Subsolador	30 – 40 cm	Opcional
Mullir, fresa	Motocultor	Fresa de suelo	> 15 cm	
Nivelar	Manual	Rastillo, escardilla		
Trazar cantero	Motocultor Manual	Surcador aporcador, cuerda fina		
Conformar canteros	Motocultor Manual	Rotoacanterador Rastillo, escardilla	15 -30 cm	
Siembra	Manual			
Fertilización	Manual Motocultor	Carretilla escardilla Fresa de suelo		
Cultivo	Motocultor Manual	Surcador aporcador escardilla	Eliminar malezas	
Protección fitosanitaria	Manual	Motomochila		Según el cultivo
Cosecha	Manual			
Transporte	Manual Tractor	Cajas sacos 50 kg carretilla Remolque		Según el cultivo

En este particular el uso de un tractor convencional Veniran 285 de mediana potencia, obedece a las características de resistencia a la penetración del suelo bajo la casa de cultivos protegidos (Tabla 7).

TABLA 8 Exigencias que deben cumplir el tractor, motocultor y aperos

Indicadores	Motocultor	Fresa	Rotoacanterador	Tractor
Altura con cabina y/o con arco protector (m)	-	-	-	< 3,00
Ancho (m)	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-
Potencia (kW)	8,9... 26,1	-	8,9... 26,1	56

Sistema de Riego

El agua juega un papel importante para las plantas por sus efectos sobre diversos fenómenos físicos, como el transporte de nutrientes, la transpiración y la reducción de la temperatura de las hojas, el transporte de metabolitos, la fotosíntesis y la respiración, por lo tanto, como conclusión práctica, se puede afirmar que la forma más sencilla de mejorar la productividad es proporcionar un aporte de agua en proporciones correctas.

Por otra parte, en los suelos arenosos, la única manera de asegurar que el cultivo pueda optimizar el aprovechamiento del agua y los nutrientes que necesita es suministrar dosis pequeñas y frecuentes por medio de un sistema de riego localizado. Este procedimiento disminuye el ritmo de percolación, la pérdida por lavado y en algunas condiciones, evita la acumulación salina.

Es el sistema más extendido en cultivos protegidos por sus muchas y bien conocidas ventajas, tales como la eficiencia, mínimo requerimiento de mano de obra, óptimo aprovechamiento de la jornada laboral, posibilidad de automatización y fertirrigación, las pocas pérdidas por evaporación, baja exigencia en automatización, permite el suministro de pequeñas cantidades de forma ininterrumpida 24 horas al día, redundando en menores pérdidas de agua y mayor rendimiento. El sistema además es de fácil montaje y desmontaje al final del ciclo del cultivo para dar paso al laboreo mecanizado del suelo, es de mayor vida útil, relativamente económico y una inversión rentable en cultivo protegido.

A partir de las dimensiones de la casa de cultivos (12 x 50 m) y de su particularidad de no contar en su interior con elementos estructurales que constituyan barreras, se realizan los cálculos para determinar el número y dimensiones óptimas de los canteros y pasillo, lo cual se ilustra en la Tabla 9.

TABLA 9. Dimensiones de los canteros y pasillos de la casa de cultivos de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”

	Numero	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
Canteros	6	50	1,00	0,30
Pasillos	7	50	0,86	-

Canteros con un ancho superior presentan dificultades para trabajarlos ya que no es posible, por regla general, alcanzar el centro de los mismos desde el pasillo, una mayor dimensión representa una pérdida efectiva de área productiva para la uni-

dad, igualmente, si los canteros son muy largos se hace muy difícil conseguir uniformidad del riego en toda la superficie del cantero entre los aspectos más significativos.

Los cálculos del diseño agronómico e hidráulico están hechos a partir del cultivo del pimiento que es uno de los más exigentes, así como para el periodo de máxima demanda, estos resultados se muestran en la Tabla 10. Otro elemento tenido en cuenta es la calidad del agua para el riego de la región, la cual no tiene altos contenidos de calcio permitiendo el funcionamiento eficiente de los goteros.

En el control de los niveles de salinidad del suelo se debe apuntar que el principal parámetro de calidad del agua (Tabla 2) fuera de las normas es el pH, cuyos valores no presentan una gran variabilidad, lo cual representa una ventaja desde el punto de vista de su control.

TABLA 10. Cálculos del diseño agronómico enfocado en el cultivo del pimiento

Diseño agronómico	Valor
Pimiento, consumo - L/m ² /día	5,3
Caudal del gotero - L/h	1,6
Espaciamiento entre goteros - m	0,3
Espaciamiento entre líneas -m	0,7
Eficiencia del sistema	90%
Tiempo de riego min/día	46,39

La distancia entre goteros es determinada por la distancia planificada entre plantas, de tal manera que cada planta tenga su propio gotero. Cuando se trabaja con bajas presiones, y pequeñas distancias, no es imprescindible utilizar goteros auto compensados por un criterio económico.

En las Tablas 11 y 12 se muestran los cálculos del diseño hidráulico enfocado en la casa de cultivo de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui” y relación de materiales, cantidad y precios relacionados con la propuesta del sistema de riego para casas de cultivos protegidos.

En el particular del sistema de riego es recomendable la incorporación del fertiriego y la electrobomba. Dada la elección de bomba eléctrica propuesta para su correcto funcionamiento se necesita 10 metros de la columna de agua (m.c.a), por tanto, el tanque hay que elevarlo por encima de 10 m de altura, garantizando una altura superior a la presión de trabajo del emisor, cuyo tiempo de llenado debe ser inferior a 1h, lo cual se garantiza con una electrobomba de caudal 1l/s.

TABLA 11. Cálculos del diseño hidráulico enfocado en la casa de cultivo de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”

Datos	Valor
Longitud de los canteros - m	50
Ancho de los canteros - m	1
Longitud de las líneas de riego - m	50
Cantidad de goteros por línea	166
Caudal de la línea L/h	265,6
Caudal de la línea L/s	0,074
Caudal total del sistema Lh	1062,4
Caudal total del sistema L/s	0,3
Presión mínima de trabajo -m.c.a	10
Líneas con goteros insertados de Ø 16 mm	
Tubería porta línea Ø 25 mm de PE PN-40	

TABLA 11. Cálculos del diseño hidráulico enfocado en la casa de cultivo de la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”

Materiales	U/M	Cantidad	Precio USD	Total USD
Manguera de Ø 32 mm de PE	m	100	0,39	39,44
Manguera de Ø 25 mm de PE	m	20	0,29	5,86
Manguera de Ø 16 mm con goteros insertados PE	m	400	0,45	180,30
Manguito reducido de 32 x 25 de PE	u	1	0,68	0,68
Conectores iniciales de 16 mm	u	4	0,23	0,90
Tapón final de 16 mm	u	4	0,24	0,95
Tapón final de 25 mm	u	1	0,34	0,34
Filtro de malla	u	1	5,07	5,07
Enlace rosca hembra de 25 x 3/4”	u	2	1,39	2,77
Válvula de bola de 3/4”	u	1	7,04	7,04
Enlace rosca macho de 25 x 3/4”	u	2	1,41	2,82
		TOTAL		246,17
FERTIRRIGADOR VENTURI	u	1	120	135,23
Te hembra de Ø 32 mm x 3/4” de PE	u	2	1,8	4,06
		TOTAL		385,46
Electrobomba 1kW de Q=1L/s y H =10 m.c.		u	1	35
Tanque de 3000 L		u	1	68
		TOTAL		1124,53

Ø- diámetro, PE-polietileno.

CONCLUSIONES

- La casa de cultivos protegidos ubicada en la de la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui se localiza en un área plana, con una estructura en forma de capilla a dos aguas, resistente, en posición perpendicular a la dirección del viento, orientación norte-sur y dimensiones de 12 por 50 m adecuadas para las condiciones de la zona. Se recomienda cubierta superior de superficies blancas de polietileno para mejorar la reflexión de la luz y su aprovechamiento, mallas anti-insectos de 50 mesh (malla antibemisia) en sus laterales y el uso además de malla sombra al 30 ó 35 % para disminuir la radiación solar incidente sobre el área de cultivo. La misma dispondrá de 6 canteros y 7 pasillos uno y 0.86 m de ancho, respectivamente y 50 m de largo cada uno. Las fuentes energéticas en el caso del

laboreo semi-mecanización de las casas de cultivo son manual, tractores de media potencia y motocultores, siendo estas últimas las más recomendables. También un sistema de riego localizado para el mejor aprovechamiento del agua y los nutrientes que necesitan ser suministrado en dosis pequeñas y frecuentes.

- La propuesta de tecnología integrada para casa de cultivos enfocado en las condiciones edafoclimáticas de la región, materiales reciclables de la industria petrolera nacional, cubierta superior y lateral, sistema de riego por goteo, diseño agronómico e hidráulicos y de costos, cultivos de interés, tecnologías semi-mecanizadas para las labores agro-técnicas soportadas en el empleo de diferentes fuentes energéticas puede ser extendida para la producción en ambientes protegidos en la Mesa de Guanipa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M.A.: *Agroecología: Principios y estrategias desde la perspectiva cubana*, Ed. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), Funes, F., García, L., Bourque, M., Pérez, N. y Rosset P. (eds.) ed., vol. Avances de la Agricultura Sostenible, La Habana, Cuba, 7-10 p., 2001, ISBN: 959-246-032-9.
- BRICENO, G.: *La situación agrícola de Venezuela, una aproximación al problema y líneas de acción para resolverlo en el corto plazo*, Inst. Red Agroalimentaria de Venezuela, Venezuela, 2018.
- CASANOVA, A.; PUPO, R.; ARANGUREN, D.; GOMEZ, O.; DEPESTRE, T.; CARDOZA, H.; HERNANDEZ, M.; PLANAS, A.; IGARZA, A.; CASTRO, J.: “Invernaderos: La experiencia cubana”, *Revista anual del Proyecto XIX del Sub Programa de Agroplasticultura del CYTED.*, 3(1): 45-56, 2004.
- COMERMA, J.; CHIRINOS, A.: “Características de algunos suelos con y sin horizonte argílico en las Mesas Orientales de Venezuela”, *Agro-nomía Tropical*, 27(2): 181-192, 1997, ISSN: 0002-192X.
- FAO: “El cultivo protegido en clima mediterráneo”, *Estudio FAO Producción y protección vegetal* 90, 90, 2002, ISSN: 1014-1227, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s05.htm>.
- GARCÍA, C.J.; RUÍZ, M.E.; HERNÁNDEZ, P.M.; TOLEDO, V.; SALGUERO, F.; CASTILLO, N.: “Resistencia mecánica de suelos de la Mesa de Guanipa, Estado de Anzoátegui, Venezuela, medida con un penetrómetro dinámico de cono”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1): 26-32, 2016, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- GARCÍA, C.J.; RUÍZ, P.M.E.; CASTILLO, N.; RANGEL, L.: “Propiedades de suelos arenosos de la Mesa de Guanipa bajo manejos convencionales”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(4): 28, 2018, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- GRAEDEL, T.E.; CRUTZEN, P.J.: *Atmospheric change: an Earth system perspective.*, Ed. WH Freeman and Co., USA, 446 p., 1993, ISBN: 0-7167-2332-8.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.J.M.; MESA, N.Á.; BOSCH, I.D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba.*, Ed. AGRINFOR, Barcaz L L ed., vol. I, La Habana, Cuba, 64 p., 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HERNÁNDEZ, P.M. del C.: *Desafíos de la agricultura orgánica para los países en desarrollo. La experiencia cubana al alcance de todos*, Inst. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (AFTAC), CITRIFRUT, La Habana, Cuba, 2000.
- HUESO, M.J.J.; ALONSO, L.F.; PINILLOS, V.V.; CUEVAS, G.J.: “Cultivo protegido de especies frutales”, *Cuadernos de Estudios Agroali-mentarios (CEA)*, (3): 139-160, 2012.
- INDER/INIA: *El cultivo de soya en la Mesa de Guanipa*, Ed. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra, 2da ed., Caracas Venezuela, 6-10 p., 2012.
- JAIMEZ, R.; MARTÍNEZ, P.; DA SILVA, R.: *Microclima en Invernaderos: sus efectos sobre intercambio de gases en cultivos, casos de Venezuela*, Inst. ULA, Venezuela, 15 p., 2005.
- JUÁREZ, L.P.; BUGARIN, M.R.; CASTRO, B.R.; SÁNCHEZ, M.A.L.; CRUZ, C.E.; JUÁREZ, R.C.R.; ALEJO, S.G.; BALOIS, M.R.: *Estructuras utilizadas en la agricultura protegida*, México, 2011.
- OLIVARES, B.; CARABAL, L.; TORREALBA, J.: “Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela.”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30(1), 2013, ISSN: 2477-9407.
- OLIVARES, B.; GUEVARA, E.; DEMEY, J.R.: “Uso y demanda de la información agrometeorológica en los sistemas de producción agrícola del estado Anzoátegui, Venezuela”, *Multiciencias*, 12(4): 372-381, 2012, ISSN: 1317-2255.
- PANEQUE, R.P.; LÓPEZ, C.G.; MAYANS, C.P.; MUÑOZ, G.F.; GAYTÁN, R.J.G.; ROMANTCHIK, K.E.: *Fundamentos Teóricos y Análisis de Máquinas Agrícolas*, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, vol. I, Chapingo, Texcoco, México, 456 p., 2018, ISBN: 978-607-12-0532-2.
- SILGUERA, J.; BENÍTEZ, I.L.B.; GONZÁLEZ, L.; DE LEÓN, J.B.: “Evaluación físico química del agua de consumo de los pozos del municipio San José de Guanipa, Estado Anzoátegui, Venezuela”, *Higiene y Sanidad Ambiental*, 14(3): 1213-1234, 2014.
- STOLF, R.; REICHARDT, K.; VAZ, C.: “Response to ‘Comments on ‘Simultaneous Measurement of Soil Penetration Resistance and Water Content with a Combined Penetrometer–TDR Moisture Probe’ and ‘A Dynamic Cone Penetrometer for Measuring Soil Penetration Resistance’”, *Soil Science Society of America Journal*, 69(3): 927-929, 2005, ISSN: 0361-5995.
- VASSILIOU, N.N.; MARTZOPOULOS, G.; MARTZOPOULOS, L.: “Determination of natural ventilation rate in a double span arch type greenhouse”, *Acta Horticulture*, 534: 171-179, 2000a.
- VASSILIOU, N.N.; MARTZOPOULOS, G.G.; MARTZOPOULOS, L.: “Determination of natural ventilation rate in a double span arch type greenhouse”, En: *International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium* 534, pp. 171-180, 2000b, ISBN: 90-6605-952-4.
- VILLARINO, L.; CASTRO, P.; RÍOS, A.: “Selección de nuevos tractores adecuados para cultivos protegidos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(2): 7-11, 2007, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

Jorge García, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: jgarcia@unah.edu.cu

Irania Quevedo, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: iraniaq@unah.edu.cu

Maritza Malave, Profesora, Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui”, El Tigre, Anzoátegui, Venezuela, e-mail: jgarcia@unah.edu.cu

Pablo M. Hernández, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: phernand@unah.edu.cu

Lázara Rangel, Profesora, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: lazarar@unah.edu.cu

Remigio Durán, Especialista, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), CEMA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: jgarcia@unah.edu.cu

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

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

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