



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**EVALUACIÓN DE LA CACHAZA Y ZEOLITA COMO  
SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE  
PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE  
CULTIVO PROTEGIDO.**



**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
FRUTICULTURA TROPICAL**

**Autor: Ing. Yeniskelh Cepero Vera**

**Tutor: Dr. C. Ramón Liriano González**

**Matanzas  
2018**



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**EVALUACIÓN DE LA CACHAZA Y ZEOLITA COMO  
SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE  
PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE  
CULTIVO PROTEGIDO**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
FRUTICULTURA TROPICAL**

**Autor: Ing. Yeniskelh Cepero Vera**

**Tutor: Dr. C. Ramón Liriano González**

**Matanzas  
2018**

## **DEDICATORIA**

- A mi familia por su apoyo incondicional.
- A la Revolución que ha hecho posible mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A mi tutor Dr. C. Ramón Liriano González por su atención e incondicional apoyo durante la preparación, organización y elaboración del presente trabajo.
  
- A mis compañeros de trabajo.
  
- A todos los profesores que han contribuido a mi superación profesional.
  
- A todos los que de una forma u otra colaboraron en la realización del presente trabajo experimental.

**A todos**

**Muchas gracias.**

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes combinaciones de cachaza y zeolita como sustrato, en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido, para lo cual se desarrolló un experimento en áreas de la UEB Casas de Cultivos Protegidos, en el poblado de San José de Marcos, perteneciente a la Empresa Agroindustrial "Victoria de Girón". Se estudiaron cinco tratamientos (100% Cachaza: 0% Zeolita, 0% Cachaza: 100% Zeolita, 70% Cachaza: 30% Zeolita, 50% Cachaza: 50% Zeolita, 30% Cachaza: 70% Zeolita). El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar y los datos compilados fueron procesados mediante un análisis de varianza simple, aplicándose la prueba de comparación múltiple de medias Duncan, a fin de comprobar el nivel de significación para  $p \leq 0,05$  utilizando el paquete profesional estadístico STATISTICA, versión 5.1 sobre WINDOWS. Se evaluó la germinación, altura de las plántulas, diámetro del tallo, número de hojas, longitud radical, peso fresco y seco foliar y radical así como la calidad estructural del cepellón. Los resultados obtenidos sugieren que los mayores valores de respuesta, logrados en cada una de las variables estudiadas durante el crecimiento de las plántulas de pepino, se logran con el tratamiento 4 (50% Cachaza: 50% Zeolita). La utilización de cachaza y zeolita estimula el crecimiento de las plántulas, resultando en un incremento de la eficiencia en la producción de plántulas de pepino en cepellón. Los resultados del análisis económico, manifiestan una relación Beneficio/Costo con valores inferiores a uno.

<b>INDICE</b>	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. El cultivo del pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L.)	4
2.1.1. Origen.	4
2.1.2. Importancia económica y alimenticia.	4
2.1.3. Taxonomía y descripción morfológica.	6
2.1.3.1. Taxonomía	6
2.1.3.2. Descripción morfológica	7
2.1.4. Requerimientos edáficos y climáticos	9
2.2. Zeolita.	10
2.2.1 Características y propiedades.	10
2.2.2. Clasificación de las zeolitas atendiendo a su estructura y composición química.	11
2.2.3. Yacimientos de rocas zeolíticas en Cuba.	12
2.2.4. Propiedades de los minerales zeolíticos.	13
2.2.5. Usos en la agricultura.	15
2.2.6. Principales limitantes en el uso de las rocas zeolíticas en Cuba.	16
2.3. Materia orgánica.	17
2.3.1. Efectos de la aplicación de materia orgánica.	18
2.3.2. Cachaza. Características.	20
2.4. Sustratos.	22
2.4.1. Propiedades de los sustratos.	23
3. MATERIALES Y METODOS	26
3.1. Ubicación y características del área experimental.	26
3.2. Material vegetal utilizado.	26
3.3. Evaluación de la cachaza y la zeolita como sustrato en la producción de plántulas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L.) utilizando la tecnología de cepellones.	26

3.4. Evaluaciones y análisis realizados.	27
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.	28
3.6. Evaluación Económica.	28
7. RESULTADOS Y DISCUSION.	30
7.1. Análisis de la germinación.	30
7.2. Análisis de las variables del crecimiento.	31
7.3. Análisis calidad estructural del cepellón.	36
7.4. Evaluación económica.	37
8. CONCLUSIONES.	38
9. RECOMENDACIONES.	39
10. BIBLIOGRAFIA.	40

## **1. INTRODUCCION.**

En Cuba, el cultivo protegido constituye una tecnología promisoría para extender los calendarios de cosecha de hortalizas y asegurar el suministro fresco al turismo, al mercado en frontera y a la población en general (Casanova *et al.*, 2007).

El cultivo protegido se reconoce hoy día como una tecnología agrícola de avanzada que puede influir eficazmente en la producción de hortalizas frescas durante todo el año, (Casanova *et al.*, 2007). Entre las especies cultivadas con mayor rentabilidad se encuentran el tomate, pimiento y pepino. Los rendimientos que se logran en esta tecnología son muy variados, ya que dependen del cultivo, el tipo de instalación, su propósito comercial, la estación del año y el manejo propio del trabajo en cada casa (FAO, 2009).

En la actualidad la producción de hortalizas se ha convertido no solo en un medio para obtener ingresos económicos sino en una vía para mejorar el régimen alimenticio de los habitantes de zonas urbanas y rurales.

Por otra parte muchos productores, grandes y pequeños, quienes tradicionalmente han utilizado la aplicación de fertilizantes sintéticos para promover el desarrollo de sus cultivos, están modificando estas prácticas por diversas razones, entre las cuales incluyen la restricción en el uso de pesticidas, la demanda de alimentos con calidad y la creciente degradación del recurso suelo (Humpert, 2000).

En el cultivo protegido la tecnología de cepellones se ha extendido en muchos países y en el nuestro, motivado por las múltiples ventajas que este tiene sobre el sistema tradicional de producción de plántulas en cuanto a: disminución en el consumo de semillas y obtención de mayor número de plantas por unidad de área, mayor homogeneidad y calidad de las plantas y se logra realizar el trasplante con el 100% de las raíces en la mota de sustrato, no se produce parada vegetativa y disminuye la mortalidad en el campo.

El sustrato como componente esencial de la tecnología debe confeccionarse sobre la base de materiales de alta distribución territorial y de fácil adquisición, que permita la obtención de posturas sanas de alta calidad con un adecuado nivel de rentabilidad y de sostenibilidad del proceso productivo.



Estas particularidades permiten prever el posible efecto beneficioso de la materia orgánica, que además de ser el reservorio de nutrientes por excelencia para las plantas encierra durante su curado y transformación una alta actividad microbiológica. Estos microorganismos producen grandes cantidades de enzimas, antibióticos y otras sustancias bioactivas que le dan al sustrato orgánico la propiedad de catalizar o acelerar la germinación de las semillas, así como de proteger a las plántulas contra la incidencia de enfermedades. Las bondades de la materia orgánica en el crecimiento inicial de las hortalizas, determinadas por sus características nutricionales y físicas, permite elaborar un sustrato que propicie un buen desarrollo de las raíces y la formación del cepellón.

A su vez las rocas zeolíticas constituidas por aluminosilicatos hidratados de origen volcánico presentan propiedades que las hacen atractivas en la rama agrícola dado sus altos valores de intercambio catiónico, selectividad para elementos de interés nutricional como el amonio y potasio entre otros, así como su elevada retención hídrica (Soca, 2012).

La intensidad de explotación de las casas de cultivo protegido no es posible sin la existencia de un sistema bien estructurado de producción de plántulas, donde el sustrato constituye un factor decisivo.

### **Problema.**

¿Cómo influyen la cachaza y la zeolita como sustrato en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido?

### **Hipótesis.**

Si se estudian diferentes combinaciones de cachaza y zeolita como sustrato en la tecnología de producción de plántulas de pepino en cepellón, entonces se podrán obtener plántulas con calidad.

## **Objetivos.**

### **Objetivo general.**

Evaluar el efecto de diferentes combinaciones de cachaza y zeolita como sustrato, en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido.

### **Objetivos específicos**

1. Estudiar el efecto de diferentes combinaciones de cachaza y zeolita sobre algunos índices de crecimiento, en plántulas de pepino en condiciones de cultivo protegido.
2. Valorar la factibilidad económica del uso combinado de cachaza y zeolita en la producción de plántulas de pepino en condiciones de cultivo protegido.

## **2. REVISION BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.).**

#### **2.1.1. Origen.**

Originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3 000 años. De la India se extendió a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo en China. El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América. El primer híbrido apareció en 1872 (Infoagro, 2010; Jaime *et al.*, 2012)

#### **2.1.2. Importancia económica y alimenticia.**

El pepino se destaca a nivel mundial como una de las principales hortalizas de alto consumo y de mayor importancia ya que su producción es relativamente rápida, favoreciendo a países de clima templado quienes las pueden trabajar durante todo el año, lo cual significa un punto a favor respecto a países estacionales, quienes solamente las desarrollan en condiciones protegidas, convirtiéndose en un mercado atractivo de exportación. Por ser de consumo tanto en fresco para ensaladas y platos típicos, como industrializado en encurtidos, en países pioneros en su producción el área cultivada se encuentra en constante crecimiento, dadas las exigencias de un mercado dinámico y en crecimiento (Reho, 2015).

El pepino es una hortaliza de alto potencial económico por ser un producto de exportación que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo (Ortiz *et al.*, 2009) y uno de los cultivos hortícolas de mayor consumo a nivel mundial por su valor nutrimental (Waris *et al.*, 2014).

En el año 2014 fue la cuarta hortaliza a nivel mundial en lo que a producción se refiere, solo superada por las cosechas de tomate, sandía y cebolla, y la sexta a la que se le dedicó mayor superficie de cultivo. La mayor parte del pepino que se produce en el mundo se concentra en un reducido grupo de países, a la cabeza del cual se sitúa China con el 75,8% de la producción mundial. Este porcentaje alcanza el 89,0% al

incluir a los 10 principales productores. España fue el mayor productor de la Unión Europea (UE) con 775 903 t, seguido de Polonia con 532 039 t y los Países Bajos (observar tabla 1), (FAOSTAT, 2017).

Tabla 1. Producción, rendimiento y exportación mundial de pepino (FAOSTAT, 2017).

País	Producción (año 2014)		Rendimiento (año 2014)			Exportación (año 2013)	
	Orden	t	Orden	Kg.m <sup>2</sup>	Comparación <sup>1</sup>	Orden	t
China	1	56 855 415	31	4,82	0,07	5	88 261
Rusia	2	1 820 123	55	2,60	0,04	69	93
Irán	3	1 804 184	70	2,01	0,03	7	71 045
Turquía	4	1 780 472	51	2,70	0,04	6	77 977
Ucrania	5	940 940	77	1,82	0,02	23	10 742
EEUU	6	799 820	81	1,62	0,02	9	49 352
España	7	775 903	16	8,72	0,12	2	545 342
Uzbekistán	8	718 570	35	4,10	0,06	8	49 813
México	9	707 632	33	4,21	0,06	1	584 928
Japón	10	548 800	29	4,94	0,07	-	-
Países Bajos	14	440 000	1	73,58	1,00	3	409 785
Jordania	17	279 017	12	11,91	0,16	10	45 385
Canadá	19	265 861	11	11,96	0,16	4	113 626
Reino Unido	45	56 500	3	53,81	0,73	54	368
Finlandia	53	48 162	8	16,96	0,23	131	0

(1) Rendimiento relativo a los Países Bajos con rendimiento de 73,58 kg.m<sup>2</sup>

En el año 2013, el principal exportador mundial de esta hortaliza fue México (noveno productor mundial), seguido de cerca por España y los Países Bajos. Aproximadamente el 72,3% del pepino producido en España en 2013 (545 343 t) se destinó al mercado

exterior, siendo la UE con un 94,6% quien absorbió la mayor parte de las exportaciones españolas (FAOSTAT, 2017).

El pepino es una hortaliza que presenta un amplio interés industrial por la facilidad de adaptación al procesamiento mínimo. Esta hortaliza se utiliza mucho en la elaboración de ensaladas (Artes y Artes-Hernández, 2004; Karakas y Yildiz, 2007) y es conocido como uno de los vegetales de menor valor energético, siendo su contenido en fibras y vitaminas C, A, y tiamina, bajo con respecto a la media de otras hortalizas (FAO/LATINFOODS, 2002).

Es una especie muy rica en agua, por lo que proporciona muy pocas calorías (12 kcal.100 g<sup>-1</sup>). Aporta escasas cantidades de provitamina A y de otras vitaminas del grupo B, pero contiene en cambio cantidades apreciables de vitamina C (Moreiras *et al.*, 2004), quedando cubierta con 100 g alrededor del 12% de la ingesta diaria recomendada de esta vitamina (NIH, 2016). Tiene un contenido bajo en minerales, siendo el potasio el más abundante (Moreiras *et al.*, 2004).

El pepino a pesar de ser poco nutritivo con el casi 100% de agua, es rico en vitamina A y C, además contiene azufre, por lo que se utiliza bastante en la industria cosmética y es muy consumido por su buena combinación con ensaladas (Jaime *et al.*, 2012).

Este cultivo se encuentra dentro de las hortalizas de mayor importancia dado su consumo per cápita como hortaliza de mesa (FAO, 2012). Se utiliza para consumo en fresco, para obtención de aceite de las semillas y para su uso en productos de belleza como jabones y cremas corporales gracias a su riqueza en agua, vitamina E y aceites naturales, constituye uno de los mejores remedios para el cuidado externo de la piel (SIAP, 2012).

### **2.1.3. Taxonomía y descripción morfológica.**

#### **2.1.3.1. Taxonomía**

La descripción taxonómica del pepino según Valadéz (1990) es como sigue:

Reino: Vegetal

Subreino: Embryophyta

División: Magnoliphyta (Angiosperma)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: Cucumis

Especie: *Cucumis sativus*

Entre las 52 especies de *Cucumis* spp., *C. sativus* tiene el valor más importante debido al potencial fitoquímico y terapéutico (Pulok *et al.*, 2012).

La clasificación taxonómica más reciente de la familia Cucurbitaceae, y la que cuenta con mayor aceptación, es la realizada por Schaefer y Renner (2011). Esta clasificación divide la familia en 15 tribus, siendo Cucumis uno de los 24 géneros que forman parte de la tribu Benincaseae.

#### **2.1.3.2. Descripción morfológica**

Talavera (2005) señala que es una planta anual, consta de raíz principal que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas y alargadas y de color blanco. Los tallos son angulosos y espinosos de porte rastrero y trepador. Las hojas tienen unos pecíolos muy largos. Tienen tres o más lóbulos y terminan en punta y son de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino. Las flores son unisexuales, se localizan en las axilas de las hojas, son de color amarillo, de corto pedúnculo y pétalos amarillos. Los frutos son de color verde claro a color verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa de color blanquecino con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto.

Al igual que casi todos los cultivos comúnmente denominados hortalizas, el pepino, presenta características muy particulares: rápido crecimiento, con un alto índice de acumulación de biomasa y un sistema radical poco profundo; (Romero *et al.*, 2009) y nutrientes (Suniaga *et al.*, 2008).

La planta de pepino según García y Angulo (2008) desarrolla una raíz principal que puede alcanzar una profundidad en el suelo entre 100 y 120 cm, de la raíz principal

parten raíces secundarias, que se caracterizan por ser muy ramificadas y se extienden horizontalmente, la mayor parte de las raíces secundarias se ubican en una capa de suelo de 20 a 30 cm.

El tallo es anguloso por los cuatro lados, de porte rastrero o trepador y veloso, el tallo principal presenta en cada nudo una hoja y un zarcillo y en las axilas de las hojas, crecen ramificaciones, que pueden llamarse ramillas primarias y secundarias.

Las hojas son palmeadas con cinco lóbulos y vellosas tanto el haz como el envés cubierta de vellos finos, son alternas y presentan una cutícula muy fina.

El pepino es una planta de polinización cruzada, la flor tiene el pedúnculo corto, los pétalos son de color amarillo de amplia variabilidad, en la misma planta de forma separada se presentan flores masculinas, femeninas y además ciertas variedades pueden presentar flores hermafroditas (García y Angulo, 2008).

Aunque la fructificación en el pepino por vía sexual es la forma habitual, al ocurrir la fecundación de las flores femeninas con polen de las flores masculinas se originan frutos que presentan una cierta deformación basal que los hace difícilmente comercializables; de forma natural se tiende a la formación de frutos partenocárpicos, y a su vez, se ha inclinado a métodos que conlleven a éste tipo de crecimiento que se obtiene genéticamente o con la aplicación de fitohormonas (Casilimas *et al.*, 2012).

Reché (2011) plantea una clasificación de los frutos de pepino en tres grandes grupos:

- Tipo Holandés: los cuales pueden alcanzar los 40 cm de longitud y de 400-500 gramos de peso. La extremidad del fruto es puntiaguda. Casi todas las variedades de éste tipo son plantas ginoicas y de frutos partenocárpicos.
- Tipo Francés: con peso de 300-400 g. y longitudes entre 20 y 25 cm de largo con diámetros que van de los tres a cinco centímetros. Los frutos pueden tener o no espinas.
- Tipo Español: rectos y cilíndricos, generalmente con espinas blancas. Posee piel verde con rayas amarillas longitudinales. El peso varía entre los 150 – 300 gr. Son variedades utilizadas para consumo en fresco e industria generalmente, como los pepinillos encurtidos. En este tipo de pepino se incluyen todas las variedades menores de 20 cm de largo.

El fruto es una pepónide de sección circular que dependiendo del cultivar puede presentar distintas formas (cilíndrica, oblonga, globular) y colores en el estado de inmadurez (verde, blanco o amarillo). El tipo de fruto más habitual en las variedades comerciales es el alargado y cilíndrico, que vira a amarillo, anaranjado o marrón al alcanzar la madurez fisiológica. El epicarpio está formado por una epidermis más o menos dura, dependiendo del grosor de la cutícula que la cubre, y una hipodermis que presenta una masa de esclerénquima debajo de las protuberancias o tubérculos (León, 2000). Estas protuberancias están coronadas por espinas, tricomas multicelulares no glandulares similares en forma y estructura a los tricomas de las hojas (Li *et al.*, 2015). La combinación de espinas y protuberancias da un aspecto verrugoso al fruto. Los frutos no verrugosos son de mayor interés en el mercado en fresco ya que son más fáciles de limpiar, envasar, transportar y almacenar (Zhang *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2014).

El período entre floración y cosecha puede ser de 55 a 60 días, dependiendo del cultivar y de la temperatura. Generalmente, los frutos se cosechan en un estado ligeramente inmaduro, próximos a su tamaño final, pero antes de que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan. La firmeza y el brillo externo son también indicadores del estado prematuro deseado. En el estado apropiado de cosecha un material gelatinoso comienza a formarse en la cavidad que aloja a las semillas. La calidad del pepino de mesa o para rebanar se basa principalmente en la uniformidad de forma, en la firmeza y en el color verde oscuro de la piel. Otros indicadores de calidad son el tamaño y la ausencia de defectos de crecimiento o manejo, pudriciones y amarillamiento (Suslow y Cantwell, 2013).

#### **2.1.4. Requerimientos edáficos y climáticos**

El pepino se puede cultivar en cualquier suelo, pero responde mejor en suelos arcillo arenosos a francos bien drenados. Si el suelo no es el ideal, hay que proveer las condiciones adecuadas para prevenir el exceso de agua. La planta de pepino no tolera la salinidad por lo cual el pH debe estar entre 5,5 y 6,8 (Arias, 2007).



El pepino es una planta con elevados requerimientos de humedad, siendo la humedad relativa óptima durante el día de 60 a 70% y durante la noche de 70 a 90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y por ende la fotosíntesis. Con humedad ambiental más alta del 90% la atmósfera está saturada de vapor de agua lo que es conducido para desarrollar enfermedades fungosas. Además, un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie (Arias, 2007)

El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción (Infoagro, 2010).

La planta muere cuando la temperatura desciende a menos de un  $^{\circ}\text{C}$ , comenzando con un marchitamiento general de muy difícil recuperación. Respecto a la humedad relativa del aire, el cultivo es muy exigente, a excepción del período de recolección, período en que la planta se hace más susceptible a algunas enfermedades fungosas, que prosperan con humedad relativa alta (Talavera, 2005).

La precipitación, así como la humedad deben ser relativamente bajas de manera que se reduzca la incidencia de enfermedades, no tolera excesos de agua por lo que se produce en zonas con una precipitación entre los 500 y 1200 mm por año (Arias, 2007). Datos presentados por Bojacá y Monsalve (2012) evidencian que el pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

## **2.2. Zeolita.**

### **2.2.1 Características y propiedades.**

El término zeolita viene del griego zéo y líthos que quiere decir piedra que hierve o piedra efervescente. En 1756, con el descubrimiento de la stilbita por el mineralogista sueco Barón Alex Frederick Cronstedt, las zeolitas fueron reconocidas por vez primera.

(Costafreda, 2011). Las zeolitas son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalinotérreos predominantemente de sodio y calcio. Las zeolitas naturales presentan como características relevantes, una estructura microporosa que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación  $\text{Si}^{4+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  (Mumpton, 1999).

El producto denominado comercialmente “Zeolita Natural” es en realidad una roca cuyo componente principal es uno o varios minerales del grupo de las zeolitas en contenidos globales del 50% como mínimo, siendo ejemplos de ellas las siguientes: Chabasita, Clinoptilolita, Mordenita, Natrolita, Phillipsita, Huelandita, Laumantita, Faujasita, Laumontitas entre otras (Brito *et al.*, 2013).

Las primeras manifestaciones de zeolita en Cuba fueron halladas según Casals (2014) por el geólogo búlgaro B. Alexiev en un trabajo conjunto con los geólogos cubanos, y donde la clinoptilolita, mordenita y analcima fueron las más importantes.

### **2.2.2. Clasificación de las zeolitas atendiendo a su estructura y composición química.**

Leiva (2013) clasifica a las zeolitas:

- Por el diámetro de sus poros (pequeños, medianos, grandes y extragrandes)
- De acuerdo a su estructura (apoyándose en estudios cristalográficos).
- De acuerdo a su relación  $\text{Si}^{4+}$ :  $\text{Al}^{3+}$  (ricas en aluminio, intermedias y ricas en silicio), siendo esta la de mayor importancia agrícola por brindar parámetros precisos vinculados con sus propiedades y usos.

Las zeolitas según Curi *et al.* (2006) están estructuradas en redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo  $\text{TO}_4$  ( $\text{T} = \text{Si}, \text{Al}, \text{B}, \text{Fe}, \text{Co}$ ) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno.

Entre las características generales de las zeolitas atendiendo a su estructura según Leiva (2013) están las siguientes:

- Diámetro de poro: 0,2 a 12 Å.
- Diámetro de cavidades: 6 a 12 Å.
- Superficie interna: varios cientos de  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ; entre 500 y 1000  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

- Capacidad de intercambio catiónico: 0 a 650 milimoles (mmol).100g<sup>-1</sup>
- Capacidad de adsorción: <0,35 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>
- Estabilidad térmica: desde 200° hasta más de 1 000 °C.

Las zeolitas por su estructura peculiar tridimensional son altamente estables debido a que los enlaces de estos minerales son muy rígidos en todas direcciones. La estructura cristalina de cada uno de los minerales es única, por lo que cada uno de los minerales zeolíticos se caracteriza por canales, poros y cavidades o cavernas de dimensiones estrictamente determinadas. Las estructuras de muchas zeolitas han sido determinadas por análisis cristalográficos de difracción de rayos X. La mayor parte de las zeolitas cristalizan en los sistemas monoclinicos o rómbicos, pero existen también zeolitas tetragonales, trigonales y cúbicas (Casals, 2014).

### **2.2.3. Yacimientos de rocas zeolíticas en Cuba.**

Desde que fueron descubiertas y hasta la fecha, según informan Orozco y Rizo (1998); Ortiz *et al.* (2011) y Brito *et al.* (2013) los estudios geológicos en todo el territorio nacional establecieron la existencia de cerca de 50 depósitos de rocas zeolíticas, localizados en diferentes formaciones geológicas, cuyas edades abarcan desde el Cretácico hasta el Eoceno Medio no teniéndose información de la existencia de rocas zeolíticas en la provincia de Ciego de Ávila y en el Municipio especial Isla de la Juventud.

La mayoría de los depósitos cubanos cuenta con una amplia caracterización geológico-tecnológica, incluidas las pruebas de uso en variadas ramas de la economía, así como recursos evaluados para su explotación y destino, tanto para usos nacionales como para la exportación por lo que se construyeron cuatro grandes plantas para el procesamiento del mineral y se comenzó la entrega de considerables volúmenes de productos a partir de zeolitas a las distintas esferas de la economía. Las primeras plantas fueron ubicadas en Tasajeras, Villa Clara; San Andrés, Holguín; Najasa, Camagüey y Jaruco, Mayabeque y tenían como capacidad productiva instalada las 600 000 toneladas anuales a principios de la década del 90 del siglo anterior.

Soca (2012) destaca que se han estudiado a profundidad en Cuba un total de 16 yacimientos que totalizan unos 20,9 millones de toneladas de recursos medidos; 69,95 millones de toneladas en recursos indicados y 214,61 millones de toneladas en recursos inferidos.

#### **2.2.4. Propiedades de los minerales zeolíticos.**

Las principales propiedades de los minerales zeolíticos son abordadas por un numeroso grupo de investigadores como Mumpton (1999), Curi *et al.* (2006), Cross (2010), Soca (2012), Jordán (2013), Pérez (2014) y Jordán *et al.* (2014); entre las propiedades se citan las siguientes:

- Porosidad. Las zeolitas están formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares de 0,3 a 1,3 Å, que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas. Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. Estos autores reconocen tres tipos de poros en los minerales atendiendo a su tamaño. Si son mayores de 5 Å se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 0,2 y 5 Å se trata de mesoporos y si son menores de 0,2 Å, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.

- Capacidad de Intercambio Catiónico. Es la propiedad más interesante e importante de las zeolitas y consiste en que los minerales zeolíticos al presentar cargas negativas libres pueden retener e intercambiar cationes propios con los presentes en la solución del suelo. Los valores reportados oscilan entre 120-200 mmol.100 g<sup>-1</sup>.

La propiedad de intercambio catiónico es característico en minerales silicatados cristalinos como arcillas, feldespatos y zeolitas, considerándose una propiedad intrínseca de estos minerales pues es el producto de la sustitución isomórficas de los átomos de silicio de su estructura cristalina por otros. En el caso de las zeolitas esta sustitución ocurre por átomos tetravalentes de aluminio lo que produce una carga neta negativa en la estructura que se compensa por cationes fuera de ella. Estos cationes son intercambiables, de ahí la propiedad intrínseca de intercambio catiónico que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa,

pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso.

El comportamiento del intercambio catiónico en las zeolitas depende de varios factores que determinan una mayor selectividad en las zeolitas a determinados cationes siendo éstos: naturaleza de los cationes en solución, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, solvente agua, solvente orgánico, estructura de la zeolita y densidad de la carga de red.

La capacidad de intercambio catiónico de una zeolita es una magnitud que da una medida del monto de equivalentes de un catión que es capaz de retener por intercambio una unidad de zeolita. Esta capacidad está directamente relacionada con el aluminio presente en la red zeolítica y depende directamente de su composición química. Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación  $\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3^{-1}$  (Espinosa *et al.*, 2009). La capacidad máxima de intercambio catiónico teórica o número de equivalentes intercambiables por unidad de la celda unitaria, no siempre puede ser alcanzada debido a la existencia de sitios de intercambio inaccesibles.

- Selectividad catiónica. Propiedad intrínseca del proceso de intercambio donde se manifiestan preferencias por los elementos de menor carga, pero con selectividad manifiesta para el sodio, potasio, amonio y elementos pesados.
- Efecto de criba iónica. Las zeolitas debido a su estructura presentan canales e intersticios con determinados diámetros en los cuales se lleva a cabo parte del proceso de intercambio donde la presencia de los cationes está determinada por las dimensiones de estos canales, lo que explica la presencia o no de determinados cationes.
- Hidratación reversible. A diferencia de los minerales arcillosos, los minerales zeolíticos carecen de interfase interna por lo que el proceso de hidratación se lleva a cabo en su superficie como en el interior de los poros o canales internos lo que conlleva ser un almacén natural de agua.
- Baja densidad: Al presentar valores de densidad aparente en el rango de 0,8-1,2  $\text{g.cm}^3$  su presencia en los suelos no contribuye a su compactación, aún con las dosis

mayores recomendadas en el mejoramiento de los suelos las cuales oscilan en el rango de 6-12 t.ha<sup>-1</sup>.

### **2.2.5. Usos en la agricultura.**

La utilización de la zeolita en la agricultura, está fundamentada en diferentes aspectos expuestos por Soca (2000), Castro *et al.* (2009) y Engormix (2010) que se exponen a continuación:

- Por su alta higroscopicidad la zeolita absorbe una gran cantidad de agua procedente de la lluvia o el riego, y la almacena en sus sistemas de canales internos, para luego cederla lentamente. En caso de grandes sequías el agua acumulada mantendrá un grado tal de humedad que permitirá tener mejores condiciones las zonas radicales de las plantas donde este se ha aplicado.
- Es un almacén de macro y micronutrientes con mínimos riesgos de lavado o lixiviación de nutrientes, lo que supone un importante ahorro de unidades de fertilizantes y una notable reducción de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos.
- Por su alta capacidad de intercambio catiónico permite un mejor aprovechamiento de los fertilizantes y otros productos aplicados al suelo, lo que permite disminuir las dosis de aplicación, debido a que se reducen considerablemente las pérdidas por lixiviación o volatilización principalmente del nitrógeno.
- Aumenta las disponibilidades de fósforo y potasio del suelo.
- La capacidad de captar el NH<sub>3</sub> y el SH<sub>2</sub> y los metales pesados del proceso compost permiten emplearlo con alta efectividad en los tratamientos de residuales orgánicos de todo tipo.

Basados en los resultados alcanzados por Cross (2010) y Brito *et al.* (2013) en la fabricación de fertilizantes y mejoramiento de la calidad de los mismos, nos permiten señalar la influencia positiva en:

- Fabricación de fertilizantes de liberación lenta aumentando la retención de nutrientes, lo que permite reducir hasta un 50% la aplicación de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- Mejora de los suelos: estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, acidez, ascensión capilar, disminuye los contenidos de sodio en el suelo, facilita una mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo.
- Reduce la cantidad de agua y el costo en fertilizantes, mediante la retención de nutrientes en la zona de las raíces.
- Incrementa la retención de humedad lo que permite reducir las dosis de riego en más del 15%.
- Sustrato para el cultivo de plantas en zeopónicos, huertos intensivos y casas de cultivo.
- Tratamiento de aguas residuales agrícolas.

#### **2.2.6. Principales limitantes en el uso de las rocas zeolíticas en Cuba.**

En Cuba según Rodríguez y Estévez (2012) en 1988, se creó la industria de las zeolitas naturales por poseer yacimientos cuya calidad es reconocida a nivel mundial, al año siguiente es creada la Empresa Cimtec S.A. para comercializar los productos de las zeolitas naturales, con un producto líder, los sustratos NEREA para el cultivo de plantas, que fue introducido exitosamente en el país en 350 unidades de zeopónicos. Sin embargo, las reglas del mercado en ese momento solo apuntaban a comercializar el mineral con determinada pureza y granulometría, dado que los usos mayoritarios estaban en el mejoramiento de los suelos, formulación de fertilizantes, nutrición animal y materiales de la construcción.

Dentro de los aspectos que han limitado el uso de estos minerales Rodríguez y Estévez (2012) destacan que han sido considerados como un producto terminado que solo requiere ser molido, sin importar lo heterogéneo del mismo para su explotación, el no contar con normas de calidad y procedimientos de análisis acreditados y darle valor agregado que solo es posible como lo consideró Mumpton (1999) al plantear: en el

futuro, científicos que investigan el uso de las zeolitas naturales tienen que estar más capacitados en la química de superficie, el intercambio catiónico, la reactividad biológica y la química coloidal si ellos desean continuar contribuyendo al desarrollo de las aplicaciones de las zeolitas.

Otro punto de vista que enjuicia las principales limitaciones que han existido en Cuba con el uso de las rocas zeolíticas es dado por Brito *et al.* (2013) quienes al analizar las posibilidades de utilización de las rocas zeolíticas señalaron que éstas se mantienen a la zaga, pues no son aún aprovechadas al máximo para lograr todo lo que pudieran aportar en función de las necesidades actuales y futuras de la sociedad, resaltando además que una de las mayores dificultades para su uso han sido las limitaciones económicas, siendo la escasez de transporte, capital y otros factores tales como la mala calidad del material recolectado, los que detuvieron bruscamente el empleo de las rocas zeolíticas, que tenía sus mejores perspectivas desde los tiempos iniciales, en la esfera agropecuaria.

En tal sentido Peláez (2015) plantea que al adentrarse la nación en el periodo especial los niveles de extracción disminuyeron de manera considerable, lo cual junto a la baja calidad del mineral recolectado, frenó la marcha de muchos proyectos que mostraban aportes plenamente comprobados y en entrevista al Doctor en Ciencias Físicas Gerardo Rodríguez Fuentes, investigador titular del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), de la Universidad de La Habana, y uno de los especialistas cubanos de mayor experiencia en los estudios sobre las zeolitas naturales, este resaltó que lo más lamentable radicó en la no utilización de un grupo de resultados científicos que cayeron en el más absurdo olvido.

### **2.3. Materia orgánica.**

La materia orgánica del suelo, como principio y fuerza que dirige la fertilidad (Manlay, *et al.*, 2007) es el indicador universal (físico, químico y biológico) de los cambios que se producen entre los sistemas. Sin embargo desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la materia orgánica total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas a corto plazo (Tan *et al.*, 2007).



La materia orgánica del suelo está constituida por todo tipo de residuos orgánicos (vegetal o animal) que es incorporado al suelo en forma directa o mediante la aplicación de abonos orgánicos. La materia orgánica es necesaria para mejorar las características y productividad del suelo con el fin de propiciar un mejor desarrollo de los cultivos. De igual manera el abono orgánico proporciona una mejora en la fertilidad del suelo, además de un beneficio en la estructura física y biológica necesaria para que prevalezcan las condiciones idóneas para el buen crecimiento de las plantas (Wroblewska, 2012).

Njukeng *et al.* (2013) reafirman lo anterior al plantear que la materia orgánica contribuye a mantener la estructura del suelo y en mayor o menor grado a un gran número de funciones físicas, químicas y biológicas del mismo.

El proceso de descomposición de la materia orgánica ha sido ampliamente estudiado en cuanto al contenido nutrimental (Castro *et al.*, 2009), la cantidad de microorganismos existentes en el producto final (Liu *et al.*, 2011) y su relación entre la textura del suelo y abonos orgánicos (Bardy *et al.*, 2008).

Louisa y Taguiling (2013) señalan que la materia orgánica del suelo experimenta un proceso de mineralización y libera cantidades sustanciales de N, P y K y pequeñas cantidades de micronutrientes. Muchos de los suelos cultivados poseen un contenido de materia orgánica que está muy por debajo de la cantidad requerida (2%) para ser considerado un buen suelo para las labores agrícolas.

### **2.3.1. Efectos de la aplicación de materia orgánica.**

Varios autores han reportados los efectos de la aplicación de materia orgánica al suelo:

- Mejoran las características de los suelos y conservan sus aptitudes agrícolas (Shu *et al.*, 2011).
- Fawzy *et al.* (2012) manifiestan que los microorganismos que se encuentran en el compost, realizan una importante función al descomponer las sustancias orgánicas y convertirlas en minerales, los cuales son asimilados por las plantas durante su ciclo productivo.

- Activa biológicamente al suelo al incorporar ácidos orgánicos y alcoholes durante su descomposición, que sirven de fuentes de carbono a los microorganismos de vida libre y fijadores de nitrógeno (Dong *et al.*, 2012).
- Aporta nutrientes minerales al suelo para el crecimiento de las plantas, cuya liberación se produce en largos periodos de tiempo. Beneficia las condiciones físicas del suelo, disminuye la compactación, favorece el desarrollo de las raíces de las plantas y la labranza del suelo (Chirila *et al.*, 2013).
- Alimenta a los microorganismos activos de la descomposición que producen antibióticos, protegen a las plantas de enfermedades y participan en la descomposición de los compuestos orgánicos hasta formar los iones  $\text{NO}^{3-}$ ,  $\text{NH}^{4+}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}^+$  antes de ser utilizados por las plantas (Bhat *et al.*, 2013).
- Proporcionan al sistema agrícola una mayor rentabilidad, al reducir en gran medida las normas de riego, debido a su contribución a la mayor retención de humedad en el suelo, disminuyendo así los costos de producción (Laohavisit *et al.*, 2013)
- Promueve una buena estructura del suelo mejorando la aireación y la capacidad de retención de humedad e incrementa la capacidad amortiguadora y de intercambio catiónico de los suelos (Adesina *et al.*, 2014).

Yadav *et al.* (2013) plantean que la productividad de los cultivos durante el primer año, luego de la fertilización orgánica en el campo, es lenta en comparación con los años subsecuentes, donde la fertilidad de los suelos aumenta en la medida que los materiales orgánicos son mineralizados.

Trinidad y Velasco (2016) señalan que el uso de abonos orgánicos estabilizados y la conservación e incremento de la materia orgánica será siempre importante en la sostenibilidad del suelo. El contenido adecuado de materia orgánica se refleja en el potencial para la producción de los cultivos.

### **2.3.2. Cachaza. Características.**

Uno de los residuos de la industria azucarera más investigado y utilizado en Cuba como abono orgánico es la cachaza. Existen informes de su utilización, sobre todo en el cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*), desde el año 1917. Posee un alto valor fertilizante, destacándose por el elevado contenido de fósforo, calcio, nitrógeno y en menor proporción de potasio y por lo general contiene más del 50% de materia orgánica.

La cachaza está formada por los residuos que se obtienen en el proceso de clarificación del jugo de la caña durante la elaboración del azúcar crudo. Es un material oscuro, constituido por la mezcla de fibra, coloides coagulados, cera, sustancias albuminoides, fosfatos de calcio y partículas de suelo (Aguilar, 2008).

La producción de cachaza es en promedio, de 30 kg por cada tonelada de caña que se muele (Procaña, 2010).

Según estudios realizados por Malavolta (1992) entre los componentes de la cachaza fresca sobresalen la materia orgánica, calcio, fósforo y nitrógeno. Después de 13 semanas de descomposición de este subproducto, disminuyen la humedad, la materia orgánica y los nutrientes antes mencionados y aumentan el hierro, el cobre y la actividad microbiana.

Presenta un alto contenido de humedad oscilando entre un 70 y un 80%; el pH es variable de siete a ocho y depende del origen del material, así como de su proceso de obtención; la conductividad eléctrica que presenta es baja ( $0,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ); su contenido de materia orgánica es alto (30 a 70%); la relación C:N oscila de 12 a 30 (Arreola-Enriquez *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2007);

La cachaza genera calor intenso ( $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) durante su compostaje, un olor de fuerte fermentación y toma mucho tiempo para su descomposición natural. Contiene una significativa fracción de materia orgánica y es un material rico en proteínas y nitrógeno (Sangwan *et al.*, 2008). Este subproducto ha sido usado como fuente de energía, pero también como fuente de nutrientes y como enmienda de suelos (Rasul, 2007).

La composición química de la cachaza procedente de diferentes centrales azucareros cubanos se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la cachaza procedente de diferentes centrales azucareros cubanos (% base seca). (Tomado de Arzola, 1990 y modificado por González *et al.*, 2011).

Procedencia	Nitrógeno	Fosforo	Potasio
C.G. Moncada	2,38	2,95	0,46
C.U. Proletaria	2,20	3,44	0,45
C.J. Reyes	3,28	2,56	0,45
C.B. Juarez	3,08	4,26	0,60
C. Guatemala	3,50	4,20	0,40
C. A .Maceo	2,4	2,45	0,48
C. A. Colina	0,62	0,034	0,38

La incorporación al suelo generalmente aumenta los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo asimilable, calcio cambiante y en los cultivos agrícolas provoca aumento de rendimiento y calidad de los mismos.

Según Arzola *et al.* (1990) la cachaza mejora la estructura superficial del suelo; aumenta su infiltración; es fuente de fósforo, potasio, nitrógeno y materia orgánica que al descomponerse da anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y después ácido carbónico, aumentando la solubilidad del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente en el suelo, aportando así calcio.

De acuerdo a Zérega (1993) las principales limitaciones de la cachaza para usos agronómicos son el alto contenido de humedad (75-80%) que presenta en estado fresco, lo cual, encarece los costos de transporte y su alta relación carbono/nitrógeno (C/N), que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos, cuando es incorporada en el momento de la siembra; aun así, estas limitaciones pueden ser solventadas si la cachaza es deshidratada y enriquecida con nitrógeno, previo a su aplicación.

Morales *et al.* (2004) plantean como mayor limitante para el uso de la cachaza en los suelos los grandes volúmenes que es necesario emplear y la alta relación C/N de esta, lo que altera el funcionamiento biológico del suelo de ser utilizada directamente,

provocando bloqueo del nitrógeno con la consecuente afectación del cultivo, sobre todo si estos son de ciclo corto.

En trabajos realizados por Arrieche y Mora (2005) al evaluar el efecto de la cachaza frente a estiércol de pollo compostados en el rendimiento del maíz, encontraron mayor rendimiento con la aplicación de la cachaza, de igual forma Escalona (2002) en los cultivos de cebolla y pimentón y Matheus (2004) en maíz obtuvieron mayores producciones. Forero (2009) al evaluar el rendimiento del cultivo de maíz fertilizado con cachaza, obtuvo un mayor número de granos por planta con la aplicación de 12,5 t.ha<sup>-1</sup> de cachaza fresca.

## **2.4 Sustratos.**

Martínez y García (2003) consideran que un sustrato de cultivo es un medio material en el que se desarrollan las raíces de las plantas, limitado físicamente en su volumen, aislado del suelo para impedir el desarrollo de las raíces en el mismo y capaz de proporcionar a la planta el agua y los elementos nutritivos que demande, y a las raíces el oxígeno necesario para su respiración.

Casanova *et al.* (2003) definen al sustrato como el medio de cultivo que le sirve de soporte a las plántulas y que además tiene que suministrarle a las mismas, las cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes.

Abad *et al.* (2004) señalan que sustrato es todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que este puede intervenir o no en la nutrición vegetal.

Rodríguez *et al.* (2010) manifiestan que el sustrato utilizado en la producción de plántulas tiene cuatro funciones importantes:

1. Proveer el agua suficiente a la semilla y posteriormente a la plántula.
2. Suministrar los nutrimentos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la plántula.
3. Permitir el buen intercambio gaseoso entre la atmósfera y el sustrato.

#### 4. Servir como soporte físico a la plántula.

Cruz-Crespo *et al.* (2013) afirman que un sustrato para el cultivo de plantas es todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las mismas, o en su caso nutrimentos, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor.

Para elegir un material como sustrato se deben considerar varios aspectos para que el crecimiento de las plantas sea el óptimo (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Dentro de los criterios más importantes se encuentran:

- Que posea propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el crecimiento.
- Se debe considerar la relación beneficio/costo.
- Disponibilidad en la región o zona.
- Facilidad de manejo o compatibilidad, en el caso de realizar mezclas de materiales.

#### **2.4.1. Propiedades de los sustratos.**

Las propiedades de los sustratos son abordados por diferentes autores, entre las más importantes se encuentran:

- Propiedades físicas:
  - Capacidad de retención de agua. Determina la frecuencia de la irrigación. El medio tiene una fracción sólida y de poros. La porosidad total es la fracción del volumen del agua y del aire. El valor de la porosidad total varía generalmente entre 50 a 90% y el del aire entre 1–10%. La humedad inicial del medio debe ser de un 50% antes de proceder al llenado de los envases (Alarcón, 2006).
  - Densidad real: Es la relación del material seco a 105 °C y el volumen real ocupado por las partículas sin incluir el espacio intermedio de poros, no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula. Es la densidad del material que compone o constituye el sustrato, se expresa en  $\text{g.cm}^{-3}$ .

- Densidad Aparente: Es la relación entre la masa del material seco a 105 °C y el volumen ocupado, incluido el espacio intermedio de poros. Es la densidad del sustrato en condiciones de utilización por tanto está tremendamente influida por la compactación del medio, se expresa en  $\text{g.cm}^{-3}$  (Martínez, 2013).

- Espacio poroso o porosidad total: Volumen total de sustrato no ocupado por la fase sólida del mismo (partículas orgánicas o minerales (Leskovar, 2001).

- Granulometría: Expresa la distribución de partículas según su tamaño, lo que determinará el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato. Las propiedades físicas de un sustrato suelen variar considerablemente en función de la distribución porcentual de cada uno de los rangos de tamaño en que estén clasificadas las partículas.

- Capacidad de absorción de agua: Es la cantidad de agua expresada en gramos que 100 gramos de sustrato seco pueden retener (Martínez, 2013).

➤ Propiedades químicas:

Suelen ser debidas a disolución e hidrólisis de los propios sustratos y puede provocar efectos fitotóxicos por liberación de iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  y ciertos iones metálicos como el  $\text{Co}^{++}$ , efectos carenciales debido, por ejemplo a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que provoca un aumento de pH y la precipitación de fósforo y algunos microelementos y efectos osmóticos provocado por un exceso de sales solubles y el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta (Russell, 2014).

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Define la cantidad de cationes que son absorbidos por las superficies de las partículas sólidas constituyentes del sustrato. La capacidad de retención de nutrientes, medida a través de la (CIC) dependerá fundamentalmente del pH y del contenido y composición de la materia orgánica y arcilla de la parte sólida (Franco, 2001).

- El grado de acides o alcalinidad de los suelos (pH): Cada sustrato de cultivo presenta un determinado valor de pH inicial. El efecto de amortiguación que presente el sustrato ante cambios de pH depende sobre todo de su actividad química siendo mayor para sustratos de tipo orgánico con elevada CIC. El pH óptimo es de 5,5–6,5 (Alarcón, 2000).

➤ Propiedades Biológicas.

- Presencia de patógenos: Todo sustrato debe estar ausente de cualquier agente patógeno, en sustratos de naturaleza orgánica no inertes, como consecuencia del ataque de los microorganismos, la materia orgánica se descompone y experimenta una serie de cambios en su composición hasta alcanzar una cierta estabilidad biológica (Ansorena, 2014).

Otras propiedades de los sustratos son: que estén libre de semillas de malas hierbas, nemátodos, hongos, otros patógenos y sustancias fitotóxicas. Además de reproducibilidad y disponibilidad, bajo costo, fácil de mezclar, desinfectar y permanecer estable bajo los procesos de desinfección, así como resistencia a cambios extremos.



### 3. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1. Ubicación y características del área experimental.

El trabajo se desarrolló en la UEB Casas de Cultivos Protegidos, en el poblado de San José de Marcos, perteneciente a la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”, localizada entre los 22°30’-22°50’ de latitud norte y los 81°35’ - 81°51’ de longitud oeste a una altitud de 13-25 msnm, en el municipio Jagüey Grande, provincia de Matanzas.

#### 3.2. Material vegetal utilizado.

El material vegetal utilizado fue semilla botánica del híbrido de pepino (*Cucumis sativus* L.) YA 2005.

#### 3.3. Evaluación de la cachaza y la zeolita como sustrato en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) utilizando la tecnología de cepellones.

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes composiciones de sustrato a base de cachaza y zeolita en el cultivo del pepino en cepellón, se estudiaron cinco tratamientos (observar tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos y relación volumétrica (%) estudiada.

Tratamientos	Relación M.O. (Cachaza): Zeolita.
	Relación volumétrica (%)
1	100:0
2	0:100
3	70:30
4	50:50
5	30:70

Las bandejas utilizadas para la obtención de plántulas de pepino con cepellón fueron de alvéolos troncocónicos de 26 cm<sup>3</sup>, colocadas en una casa de posturas con malla antibemisia en los laterales y techo de rafia transparente, completamente cerrada y con doble puerta.

La preparación de los sustratos, así como el llenado de las bandejas se realizó de forma manual colocándose las mismas sobre mesas de 80 cm de altura en el umbráculo para ello establecido.

Las bandejas se desinfectaron con formol al 5% y se lavaron con abundante agua. La siembra se efectuó de forma manual con un marcador de madera para lograr uniformidad en el hollado, el cual está graduado según el cultivo, se colocó una semilla por alvéolo a una profundidad de 2 mm de forma que permitiera garantizar el 100% de la población (una planta por alvéolo).

El riego y las aplicaciones fitosanitarias se realizaron según las indicaciones propuestas por Casanova *et al.* (2007) en el manual para la producción protegida de hortalizas.

### **3.4. Evaluaciones y análisis realizados.**

1. Germinación (%). Se determinó el número de semillas germinadas a los cinco días de la siembra y el porcentaje de germinación mediante la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \text{semillas germinadas/semillas sembradas} * 100.$$

A los 12 días de germinadas las semillas (momento de trasplante) se tomaron 15 plántulas por tratamiento a las cuales se les determinó:

2. Altura de las plántulas (cm). Se utilizó una regla graduada en cm, midiendo desde el cuello hasta el ápice.
3. Diámetro del tallo (mm). Se empleó un pie de rey a 1 cm del cuello del tallo.
4. Número de hojas por plántula. Por conteo directo.
5. Longitud radical. Se utilizó una regla graduada en cm.
6. Peso fresco foliar y radical (g). Se utilizó una balanza analítica.
7. Peso seco foliar y radical (g). Las muestras se colocaron a 70 °C en estufa hasta alcanzar peso constante. El pesaje se realizó con una balanza analítica.
8. Calidad estructural del cepellón. La calidad estructural del cepellón se determinó al momento de la extracción de las plántulas en términos porcentuales (observar figura 1), por apreciación visual.

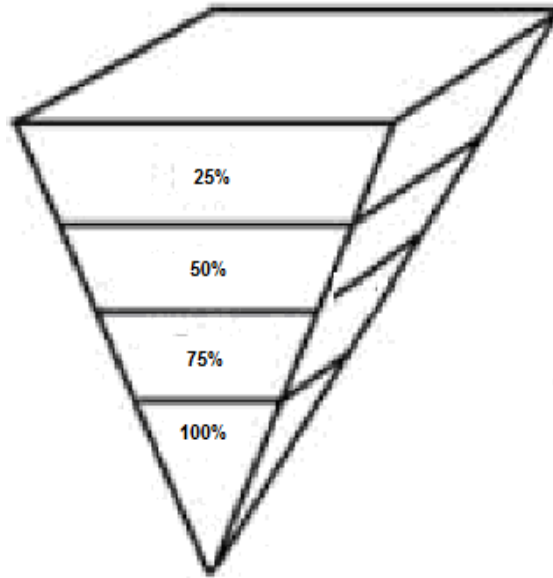


Figura 1. Evaluación del cepellón en términos porcentuales.

### 3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar y los datos compilados fueron procesados mediante un análisis de varianza simple, aplicándose la prueba de comparación múltiple de medias Duncan, a fin de comprobar el nivel de significación para  $p \leq 0,05$  utilizando el paquete profesional estadístico STATISTICA, versión 5.1 sobre WINDOWS.

### 3.6. Evaluación Económica.

La valoración económica de los resultados se realizó según la metodología propuesta por la FAO (1980) modificada en correspondencia con las características del área experimental, donde se evaluaron los siguientes indicadores:

- Valor de venta ( $\$.m^{-2}$ ): según el precio de venta de las plántulas, multiplicado por el número de plántulas producidas.
- Costo de producción ( $\$.m^{-2}$ ): según los gastos incurridos para la producción del área de semillero.
- Beneficio ( $\$.m^{-2}$ ): según la ganancia neta obtenida de acuerdo a la diferencia entre el valor de venta de las plántulas y los costos de producción.

- Relación B/C: cociente obtenido de dividir el beneficio entre el costo de producción. Valores de la relación beneficio / costo mayores a 1 indican el aporte de ganancia y un valor de 2 la obtención de un beneficio del 100%. Valores de 3 o superiores corresponden a ganancias muy notables.

Para el cálculo de estos indicadores, se utilizar como información básica:

- Precio de venta de una plántula de pepino. \$ 0,10 CUP
- Precio de venta de la zeolita. \$ 18,50 CUP la tonelada.
- Precio de venta de la cachaza. \$ 46,25 CUP la tonelada.
- Precio de la semilla. \$ 0,56 CUP

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 7.1. Análisis de la germinación.

La germinación se define como aquellos eventos que se inician con la captación de agua por la semilla y finalizan con la elongación de los ejes embrionarios y la penetración de la radícula por las estructuras que rodean el embrión (Bewley, 1997). La germinación de la semilla constituye uno de los aspectos fundamentales para introducir un híbrido en la producción ya que sus semillas son muy costosas y según Casanova *et al.* (2003) este parámetro debe tener valores superiores al 95%.

Los resultados de la germinación se presentan en la tabla 4 donde se observa un alto porcentaje de germinación que osciló entre 98,07% y 100%, lo cual consideramos que se deba a que los sustratos evaluados garantizan las propiedades físicas necesarias para la germinación.

Tabla 4. Germinación de las semillas de pepino.

Tratamientos	Número de semillas sembradas	Número de semillas germinadas.	% de germinación.
1	104	102	98,07
2	104	103	99,03
3	104	103	99,03
4	104	104	100
5	104	102	98,07

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

En su etapa inicial el desarrollo de las plántulas está directamente relacionado con la uniformidad en la germinación y ésta a su vez se puede atribuir a las propiedades físicas, dentro de las cuales la capacidad de retención de agua es de gran importancia. Njukeng *et al.* (2013) señalaron que la materia orgánica contribuye a mantener la estructura del suelo y en mayor o menor grado a un gran número de funciones físicas, químicas y biológicas del mismo.

Mohammadkhani y Haideri (2008) y Gholami *et al.* (2010) coinciden en señalar que la disponibilidad de agua es una condición esencial para la realización de los procesos metabólicos que dan lugar a la aparición de la radícula como inicio de la germinación.

## 7.2. Análisis de las variables del crecimiento.

En la tabla 5 se presenta el resultado de la evaluación de la altura de la plántula, que constituye en la fase de semillero uno de los parámetros de crecimiento que tiene mayor valor para determinar su aptitud para el trasplante, donde se observa diferencias significativas entre tratamientos, destacando el tratamiento 4 (50% Cachaza:50% Zeolita) con 11,88 cm, el cual difiere de forma significativa del resto de los tratamientos.

Tabla 5. Altura de la plántula (cm).

Variable a evaluar	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Altura de la plántula	9,59 <sup>d</sup>	10,40 <sup>c</sup>	11,16 <sup>b</sup>	11,88 <sup>a</sup>	10,74 <sup>bc</sup>
ES x	0,238				

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

Los tratamientos donde los sustratos estaban compuestos por mezclas fueron superiores a aquellos donde el sustrato estaba compuesto por un solo material (tratamientos 1 y 2).

El resultado obtenido con el tratamiento 4 puede estar asociado a la influencia de las propiedades físicas logradas con esta mezcla de iguales proporciones volumétricas, la que tiene como característica, poseer adecuadas condiciones para el desarrollo del cultivo.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Normann (1993) quien señala que las mezclas con acondicionadores logran una mejoría en una o más propiedades del

material original, siendo muy difícil encontrar en la naturaleza un material que, por sí, sólo, satisfaga todas las exigencias de un sustrato ideal.

El diámetro del tallo es uno de los indicadores del vigor de la plántula que se considera importante en el momento del trasplante ya que muestra la fortaleza y resistencia que la misma puede tener al ser sometida a condiciones de campo, de aquí la importancia de su evaluación cuyos resultados se presenta en la tabla 6, en la que las plántulas del tratamiento 4 manifestaron un mayor grosor del tallo con 3,95 mm el cual no difiere de manera significativa de los tratamientos 2, 3 y 5, pero si del tratamiento en que se solo se utilizó cachaza como componente del sustrato.

Tabla 6. Comportamiento del diámetro del tallo (mm).

Variable a evaluar	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Diámetro del tallo	3,54 <sup>b</sup>	3,62 <sup>ab</sup>	3,88 <sup>a</sup>	3,95 <sup>a</sup>	3,75 <sup>ab</sup>
ES x	0,108				

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

Como se observa existe una tendencia al incremento del diámetro del tallo en los tratamientos que se emplea la zeolita como parte del sustrato, esto pudo haber sido provocado por las características del sustrato antes mencionado en cuanto a la retención de minerales necesarios para el crecimiento de las plantas en el mismo.

Los valores registrados coinciden con los reportados por Casanova *et al.* (2003) quienes plantean que el diámetro del tallo debe oscilar entre 3,5 mm y 4,0 mm para la plántula de pepino en cepellón.

Cruz-Crespo *et al.* (2013) afirman que un sustrato para el cultivo de plantas es todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las mismas, o en su caso nutrimentos, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros.

El comportamiento del número de hojas por plántula no manifiesta diferencia significativa entre tratamientos (observar tabla 7), existiendo un ligero incremento del número de hojas en los tratamientos donde los sustratos estaban compuestos por una mezcla de cachaza y zeolita.

Tabla 7: Número de hojas.

Variable a evaluar	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Número de hojas	2,2 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>
<b>ES x</b>	0,159				

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

A su vez los valores registrados muestran un leve aumento en relación a los reportados por Casanova *et al.* (2003) quienes afirman que el número de hojas para las plántulas de pepino es de dos.

En la tabla 8 se muestra el comportamiento de la longitud de la raíz donde el tratamiento 4 con 10,71 cm manifestó el mayor valor el cual difiere de forma significativa de los tratamientos 1 y 2, no así del resto de los tratamientos.

Tabla 8: Comportamiento de la longitud radical (cm).

Variable a evaluar	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Longitud radical	9,5 <sup>b</sup>	9,67 <sup>b</sup>	10,26 <sup>ab</sup>	10,71 <sup>a</sup>	10,06 <sup>ab</sup>
<b>ES x</b>	0,299				

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.



De gran importancia para el establecimiento de la plántula al momento el trasplante en el área definitiva y su posterior crecimiento, es la relación que debe existir entre el sistema radical y foliar, de tal forma que el desarrollo radical manifestado en la longitud de la raíz, sea capaz de absorber el agua y los nutrientes necesarios para el desarrollo de la plántula de pepino.

Villegas *et al.* (2001) afirman que un sistema radical bien desarrollado permite una adaptación rápida a las condiciones de estrés por trasplante.

Según Bosch (2010) los resultados positivos en cuanto al empleo de la zeolita como sustrato calidad de las posturas en fase de semillero se deben a un buen desarrollo del sistema radical, de esta forma transfieren hacia la planta elementos minerales, agua y otras sustancias importantes para el crecimiento vegetativo.

El comportamiento del peso fresco foliar y radical (g) se presenta en la tabla 9, donde se observa diferencia significativa y el tratamiento 4 (50% Cachaza: 50% Zeolita) muestra los valores más altos, los cuales difieren de manera significativa del resto de los tratamientos.

Tabla 9: Peso fresco foliar y radical (g).

Tratamientos	Peso fresco foliar (g).	Peso fresco radical (g).
1	35,5 <sup>d</sup>	7,0 <sup>d</sup>
2	36,3 <sup>d</sup>	7,5 <sup>d</sup>
3	38,4 <sup>c</sup>	8,7 <sup>c</sup>
4	42,5 <sup>a</sup>	11,2 <sup>a</sup>
5	40,7 <sup>b</sup>	9,2 <sup>b</sup>
Ex	0,001	0,001

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

Similares resultados se presentan en la tabla 10, que muestra el comportamiento del peso seco foliar y radical (g)

Tabla 10: Peso seco foliar y radical (g).

Tratamientos	Peso seco foliar (g).	Peso seco radical (g).
1	2,0 <sup>c</sup>	0,48 <sup>e</sup>
2	2,1 <sup>c</sup>	0,51 <sup>d</sup>
3	2,4 <sup>b</sup>	0,55 <sup>c</sup>
4	2,9 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>
5	2,2 <sup>c</sup>	0,63 <sup>b</sup>
Ex	0,001	0,001

Medias con letras desiguales, difieren significativamente para  $p \leq 0.05$

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

Este comportamiento puede estar dado por un mayor grado de hidratación de los tejidos o por una mayor producción de biomasa, producto del balance entre la fotosíntesis y la respiración, en tal sentido Vázquez y Torres (1995), plantean que el crecimiento es un cambio cuantitativo que incluye aumentos en la longitud y masa seca, incrementos estos que pueden deberse a la acción de las sustancias de crecimiento y en última instancia al balance entre la fotosíntesis y la respiración de la planta.

Santos *et al.* (2010) señalan que la producción de masa seca total es el resultado de la eficiencia del follaje en la interceptación y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento, proceso regido por factores internos de la planta, como el comportamiento de la fotosíntesis y la respiración.

Los resultados obtenidos en ambos indicadores (peso fresco y seco foliar y de la raíz), muestran que los mismos fueron favorecidos por los sustratos estudiados.

Generalizando lo antes expuesto, se observó que las características de los sustratos evaluados como tratamientos tuvieron un efecto diferente sobre el crecimiento y

desarrollo de las plántulas, que se reflejó en los valores alcanzados por las variables analizadas (altura, diámetro del tallo, número de hojas, longitud radical y peso fresco y seco foliar y de la raíz), destacando el tratamiento 4 (50% Cachaza: 50% Zeolita) que mostró los mayores valores.

Estos resultados ponen de manifiesto la influencia de las diferentes composiciones de sustrato evaluadas, destacando como las variaciones en los contenidos de los materiales utilizados en las mezclas provocan que las mismas alcancen, en igual tiempo, diferentes valores del crecimiento de las plántulas, lo cual creemos que se deba a las propiedades químicas y físicas de cada composición de sustrato.

### 7.3. Análisis calidad estructural del cepellón.

La calidad estructural del cepellón al momento de la extracción de las plántulas es de gran importancia, ya que disminuye el estrés post-trasplante al momento de ser establecida en el área definitiva y asegura una mayor supervivencia. Los valores porcentuales de la calidad estructural del cepellón oscilaron entre 75% y 100% (tabla 11)

Tabla 11. Comportamiento de la calidad estructural del cepellón.

Tratamientos	Calidad estructural del cepellón (%)
1	100
2	75
3	100
4	100
5	75

Leyenda: T1: 100% Cachaza:0% Zeolita, T2: 0% Cachaza:100% Zeolita, T3: 70% Cachaza:30% Zeolita, T4: 50% Cachaza:50% Zeolita, T5: 30% Cachaza:70% Zeolita.

Consideramos que la calidad estructural del cepellón está determinada en gran medida por la humedad que tenga el sustrato al momento de la extracción de la plántula. En todos los tratamientos estudiados se retiene la totalidad o parte importante del cepellón,

y no se presentan plantas a raíz desnuda al momento de ser extraídas, situación que asegura en cierta medida la reducción del estrés de trasplante y por ende el establecimiento en el área de producción. Perdomo (2017) al evaluar la calidad estructural del cepellón en el cultivo del tomate obtuvo un cepellón compacto al utilizar turba y el terraplant 2 como sustrato, y un cepellón semicompacto al emplear la zeolita natural y litonita.

#### 7.4. Evaluación económica.

El análisis económico del empleo de diferentes combinaciones de cachaza y zeolita como sustrato en la producción de plántulas de pepino en cepellón se muestra en la tabla 12, donde se observa una relación Beneficio/Costo con valores inferiores a uno, lo cual está dado por el precio de venta de las plántulas que se encuentra entre el uno y el dos por ciento del costo de producción (venta interna).

Tabla 12. Evaluación económica de la producción de plántulas de pepino en cepellón.

Tratamientos	Plántulas producidas.	Valor de venta (\$·m <sup>-2</sup> )	Costo de producción (\$·m <sup>-2</sup> )	Beneficios (\$·m <sup>-2</sup> )	Relación Beneficio/Costo
1	1 033	103,3	91,89	11,41	0,12
2	1 035	103,5	89,12	14,38	0,16
3	1 038	103,8	91,07	12,73	0,14
4	1 040	104,0	90,51	13,49	0,15
5	1 037	103,7	89,96	13,74	0,15

## **8. CONCLUSIONES.**

Sobre la base de los resultados expuestos y discutidos en esta investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Los mayores valores de respuesta, logrados en cada una de las variables estudiadas durante el crecimiento de las plántulas de pepino, se logran con el tratamiento 4 (50% Cachaza: 50% Zeolita).
2. La utilización de cachaza y zeolita estimula el crecimiento de las plántulas, resultando en un incremento de la eficiencia en la producción de plántulas de pepino en cepellón.
3. Los resultados del análisis económico, manifiestan una relación Beneficio/Costo con valores inferiores a uno.

## **9. RECOMENDACIONES.**

Sobre la base de los resultados experimentales alcanzados y las conclusiones obtenidas se recomienda:

1. Socializar los resultados obtenidos entre los productores del cultivo del pepino en condiciones de cultivo protegido.
2. Continuar los estudios con otros abonos orgánicos, en otras variedades y especies hortícolas en condiciones de cultivo protegido.

## 10. BIBLIOGRAFIA.

Abad-Berjon, M.; Noguera-Murray, P. y Carrión-Benedito, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Madrid: Mundi Prensa. p. 113-158.

Adesina, J. M.; Sanni, K. O.; Afolabi, L. A. and Eleduma, A. F. 2014. Effect of Variable Rate of Poultry Manure on the Growth and Yield of Pepper (*Capsicum annum. L*) in South Western Nigeria. Academia Arena. 6(1): 9-13.

Aguilar, J. 2008. Vinazas alternativas para mejorar los suelos agrícolas. Memorias semana internacional de la citricultura. p. 1-11.

Alarcón, A. L. 2000. Introducción a los cultivos sin suelos. Sistemas y sustratos. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Ed. Novedades Agrícolas S.A. España. p. 191–204.

Alarcón, A. L. 2006. Curso internacional de cultivos protegidos. Jagüey Grande. Cuba. p. 2-15.

Ansorena, J. 2014. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p. 35 – 71.

Arias, S. 2007. Manual de producción de pepino. Las Limas, Cortes, Honduras. Edición USAID.

Arreola-Enríquez, J.; Palma-López, D. J.; Salgado-García, S.; Camacho-Chiu, W.; Obrador-Olan, J. J.; Juaréz-Lopez, J. F. y Pastrana-Aponte, L. 2004. Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. Terra Latinoamericana. 22(3): 351-357.

Arrieche, I. y Mora, O. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo del maíz en suelos agrícolas del estado de Yaracuy, Venezuela. *Bioagro*. 17(3): 16.

Artes, F. y Artes-Hernández, F. 2004. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. *Alimentación, Equipos y Tecnología*. 186(23): 56-54.

Arzola, N.; Paneque; V.; Battle; H.; Morejón; L.; Alfonso C. y G. Hernández. 1990. La cachaza como enmienda orgánica y fertilizante para la caña de azúcar. Folleto divulgativo del INCA. La Habana, Cuba.

Bardy, M.; Fritsch, E.; Derenne, S.; Allardb, T.; Do Nascimento, N. R. and Bueno, G. T. 2008. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. *Geoderma* 145: 222–230.

Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*. 9: 1055-1066.

Bhat, N.; Albaho, M.; Suleiman, M.; Preetha, B. T. and Ali, S. I. 2013. Growing Substrate Composition Influences Growth, Productivity and Quality of Organic Vegetables. *Asian Journal of Agricultural Sciences*. 5(4): 62-66.

Bojacá, C. y Monsalve, O. 2012. Manual de producción de pepino bajo invernadero. Bogotá: Universidad de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”.

Bosch, P. y Schifter, I. 2010. La zeolita una piedra que hierve. *Ciencia desde México*. Fondo de Cultura Económica. México D. F. 82 p.

Brito, A.; Coutín, P. y Batista, R. 2013. Papel actual de las zeolitas para el desarrollo local en la rama agropecuaria. *MINERIA 2013*. VI Taller de zeolitas naturales, usos y aplicaciones. La Habana.



Casals, C. 2014. Las zeolitas. Mineral del siglo XX. Usos y aplicaciones [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/las-zeolitas.pdf>. [Consulta: octubre, 14 2017].

Casanova, A.; Gómez, Olimpia; Hernández, M.; Chailloux, Marisa; Depestre, T.; Pupo, F. R.; Hernández, J. C.; Moreno, V.; León, María; Igarza, A.; Duarte, Carmen; Jiménez, Irene; Santos, R.; Navarro, A.; Marrero, Aleyda; Cardosa, Hortencia; Piñeiro, F.; Arozarena, N. y Villarino, Luisa. 2003. Manual para la producción protegida de hortalizas. Ed. Liliana. La Habana, Cuba. 113 p.

Casanova, A.; Gómez, Olimpia; Pupo, F.; Hernández, M.; Chailloux, Marisa; Depestre, T.; Hernández, J. C.; Moreno, V.; León, María; Igarza, A.; Duarte, Carmen; Jiménez, Irene; Santos, R.; Navarro, A.; Marrero, Aleyda; Cardosa, Hortencia; Piñeiro, F.; Arozarena, N.; Villarino, Luisa; Hernández, María I., Martínez, E.; Martínez, M.; Muiño, Bertalina; Bernal, Blanca; Martínez, H.; Salgado, Julia M.; Socorro, A.; Cañet, F.; Fi, J.; Rodríguez, Alicia y Osuna, A. 2007. Manual para la producción protegida de hortalizas. Editorial. Liliana. La Habana, Cuba. p. 50-53.

Casilimas, H.; Monsalve, O.; Bojaca, C.; Gil, R.; Villagrán, E.; Arias, L. y Fuentes, L. 2012. Manual de producción de pepino bajo invernadero. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 208 p.

Castro, A.; Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33(1): 31-43.

Castro, M.; Martínez, M. y Ayala, L. 2009. Zeolitas naturales, su uso impostergable en el sector agropecuario. *ACPA* 3: 4 -7.

Chirila, E.; Lupascu, N. and Raicu, S. 2013. Preliminary studies on some waste vegetable contribution to the soil fertility. *Ovidius University Annals of Chemistry*. 24(2): 127-130.

Costafreda, J. I. 2011. Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. *Rocas y Minerales Industriales*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Fundación Gómez Pardo. Madrid, España.

Cross. J. 2010. .Zeolita, el mineral de los mil usos [en línea]. Disponible en: <http://costaricahoy.infidesarrollo/Cuba-zeolite-elmineral-de-los-mil-usos/4/>. [Consulta: junio, 18 2017].

Cruz-Crespo, E.; Can-Chulim, A.; Sandoval-Villa, M.; Bugarín-Montoya, R.; Robles-Bermúdez, A. y Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit.

Curi, A., Granda, W.; Lima, H. y Sousa, W. 2006. Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes marinos. *Información Tecnológica*. 17(6): 111-118.

Dong, W.; Zhang, X.; Wang, H.; Dai, X. and Sun, X. 2012. Effect of Different Fertilizer Application on the Soil Fertility of Paddy Soils in Red Soil Region of Southern China. *PLoS ONE*. 7(9): 1-9.

Engormix. 2010. Las zeolitas naturales en el mejoramiento de suelos y optimización de fertilizantes [en línea]. Disponible en: [http:// www.engormix.com](http://www.engormix.com). [Consulta: octubre, 14 2017].

Escalona, A. 2002. Efecto de la aplicación de dosis altas de cachaza de caña y estiércol de pollo sobre el desarrollo de los cultivos de pimentón y cebolla en la zona de Quíbor, Estado Lara. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”.

Espinosa, W.; Fernández, J. y Curbelo, N. 2009. Interés de las zeolitas naturales en la agricultura. ACPA 4: 7 - 9.

FAO. 1980. Los fertilizantes y su empleo. Guía de bolsillo para los extensionistas 3<sup>ra</sup> Edición. Roma, Italia. 54 p.

FAO. 2009. La producción mundial del tomate fresco [en línea]. Disponible en: <http://www.elhabanero.Cuba>. [Consulta: junio, 18 2017].

FAO. 2012. El cultivo de pepino. Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. [Consulta: noviembre, 14 2017]

FAO/LATINFOODS. 2002. Tabla de Composición de Alimentos de América Latina [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/REGIONAL/LAmerica/bases/alimento/>. [Consulta: junio, 15 2017]

FAOSTAT, 2017. Cucumber production [en línea]. Disponible en: <http://faostat3.fao.org>. [Consulta: enero, 24 2018]

Fawzy, Z. F.; El-Bassiony, A. M.; Li, Y.; Ouyang, Z. and Ghoname, A. 2012. Effect of Mineral, Organic and Bio-N Fertilizers on Growth, Yield and Fruit Quality of Sweet Pepper. Journal of Applied Sciences Research. 8(8): 3921-3933.

Franco, J. A. 2001. Los sustratos agrícolas en la región de Murcia, España. Agrícola Vergel. XX (235): 376.

García K. A. y Angulo L. K. 2008. Efecto de cultivos en asocio pepino (*Cucumis sativus* L.), pipian (*Cucúrbita pepo* L.) y frijol de vara (*Vigna unguiculata* L. walp), en la ocurrencia poblacional de insectos plagas, benéficos y el rendimiento en Tisma, Masaya. Universidad Nacional Agraria. 91 p.

Gholami, M.; Rahemi, M. and Kholdebarin, B. 2010. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. Australian: J. Basic Appl. Sci. 4:785-791.

González, R.; Travieso, T, M.; Cuyo, T. y Basurto, J. 2011. Composición química de la cachaza procedente de diferentes centrales azucareros cubanos, incluido el A. Colina (% base seca). (Tomado y modificado de Arzola, 1990).

Humpert, P. 2000. New trends in sustainable farming build compost use. BioCycle [en línea]. Disponible en: <http://agriculturatecnica.com>. [Consulta: enero, 12 2018].

Infoagro. 2010. El cultivo del pepino [en línea]. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>. [Consulta: junio, 15 2017]

Jaime-Green, M.; Lucero-Flores, J. M. y Snche - Verdugo, C. 2012. Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo. Inteligencia de mercado de pepino. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 85 p.

Jordán, R. 2013. Mejorador del suelo a partir de una zeolita natural. Una propuesta sustentable para la agricultura .Información tecnológica. 6(1): 13 - 19.

Jordán, R.; Betancourt, R.; Cabrera, D. 2014. Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural. Una propuesta sustentable para la agricultura. Nova Scientia. 6(11): 5 - 11.

Karakas, B. and Yildiz, F. 2007. Peroxidation of membrane lipids in minimally processed cucumbers packaged under modified atmospheres. *Food Chemistry*. 100(3): 1011-1018.

Laohavisit, A.; Richardsa, S. L.; Shabalab, L.; Chenc, C.; Renato, D. R.; Colaço, S. M.; Swarbrecka, E. S.; Adeeba, D.; Shabalab, S.; Shangc, Z. y Daviesa, J. M. 2013. Salinity-induced calcium signaling and root adaptation in *Arabidopsis thaliana* require the calcium regulatory protein annexin. *Plant Physiology Preview*. DOI: 10.1104. 113p.

Leiva, E. 2013. Caracterización Geotécnica de la zeolita proveniente de las tobas de Quinámavida, Colbún, región de Maule, Chile. Memoria para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción.

León, J., 2000. Botánica de los Cultivos Tropicales. Editorial Agroamérica del IICA, San José, Costa Rica.

Leskovar, D. I. 2001. Producción y ecofisiología del trasplante hortícola [en línea]. Disponible en: <http://www.ediho.eshorticom/fitech3/potencia/text/fpetit.html>. [Consulta: octubre, 18 2017].

Li, Q.; Cao, C.; Zhang, C.; Zheng, S., Wang, Z.; Wang, L. and Ren, Z. 2015. The identification of *Cucumis sativus* Glabrous 1 (CsGL1) required for the formation of trichomes uncovers a novel function for the homeodomain-leucine zipper I gene. *J. Exp. Bot.* 66: 2515–2526.

Liu, J.; Xu, X.; Li, H. and Xu, Y. 2011. Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and bioenergy*. 35: 3433 – 3439.

Louisa, M. G. y Taguiling, G. 2013. Quality improvement of organic compost using green biomass. *European Scientific Journal*. 9(36): 1857 – 7881.

Malavolta, E. 1992. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional del Valle del Cauca, Palmira.

Manlay, R. J.; Feller, C. y Swift, M. J. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 119: 217-233.

Martínez, E. y García, M. 2003. Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo. Ed. de Horticultura, S. L. España. p. 19 –40.

Martínez, F. 2013. Abonos orgánicos y su contribución a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en Cuba, Instituto de suelo. AB la ACTAF. 6 p.

Matheus, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). *Bioagro*. 16(3): 219-224.

Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. *Pakistan. J. Biol. Sci.*11:92.

Morales, A.; Calero, B.; Martínez, F.; Rodríguez, M. y Gómez, A. 2004. Calidad biológica en humus de lombriz a partir de diferentes mezclas de sustratos orgánicos. En: Congreso Científico del INCA. La Habana, Cuba. (CD).

Moreiras, O.; Carbajal, A. y Cuadrado, C., 2004. Tablas de Composición de alimentos. Pirámide Ediciones, Madrid, España.

Mumpton, F.A. 1999. Uses of natural zeolite in agriculture and industry. National Academy of Science. 96: 3463-3470.

NIH. 2016. National Institutes of Health [en línea]. Disponible en:<https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/#h2>. [Consulta: enero, 24 2018]

Njukeng, N. J.; Nkeng, E. G.; Ehabé, E. E. y Schnug, E. 2013. International Research Journal of Pure and Applied Chemistry. 3(1): 22-31.

Normann, A. 1993. Substratos hortícolas: Turfa a casca de arroz. Lavoura Arrozeira. 46(409): 12-13.

Orozco, G. y Rizo, R. 1998. Depósitos de las zeolitas naturales en Cuba. Acta Geológica Hispánica. 33(1-4): 335-349

Ortiz, C.; Rodríguez, I.; Petranovslai, V.; Rizo, R. y Aguilera, L. 2011. Zeolitas naturales de diferentes yacimientos cubanos: Composición y Estabilidad química y térmica. Cubana de Química. XXIII (1): 9 -14.

Ortiz, J.; Sánchez, F.; Mendoza, M. y Torres, A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Fitotecnia Mexicana. 32(4): 289-294.

Peláez, O. 2015. ¿Renacer de la zeolita?. Periódico Granma, noviembre 21, : 8.

Perdomo, Yailín. 2017. Evaluación de diferentes sustratos en el desarrollo de plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum*, L) en casas de cultivos protegidos de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” en la provincia de Matanzas. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Matanzas.

Pérez, M. F. 2014. Evaluación de la zeolita natural utilizada como una tecnología productiva y limpia, aplicada al pasto al Maralfalfa (*Penisetum* sp.) como un complemento en el uso de los fertilizantes nitrogenados. Costa Rica. Tesis en opción al título de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnológicos de Producción. Instituto Técnico de Costa Rica.

Procaña. 2010. Sub productos y derivados de la caña de azúcar [en línea]. Disponible en: <http://www.procana.org>. [Consulta: octubre, 5 2017]

Pulok, K. M.; Neelesh, M.; Niladri, K. and Birendra, S. 2012. Phytochemical and therapeutic potential of cucumber. *Fitoterapia*. 84: 227-236.

Rasul. G. 2007. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. Witzenhausen. Pakistan. Doctoral Thesis. University of Kassel.

Reche, J. 2011. Cultivo del pepino de invernadero. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. Madrid, España. 50 p.

Reho. A. 2015. El pepino sinaloense continúa escalando su exportación [en línea]. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida>. [Consulta: junio, 15 2017]

Rodríguez, G. y Estévez, E. 2012. Ingeniería de Zeolitas naturales: una opción para la Industria. *Cubana de Gestión Empresarial*. 8(1): 11 - 18.

Rodríguez-Macías, R.; Alcantar-González, E. G.; Iñiguez-Covarrubias, G.; Zamora-Natera, J. F.; García-López, P. M.; Ruiz-López, M. A. y Salcedo-Pérez, E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*. 35 (7): 515-520



Romero, E.; Rodríguez, A.; Rázuri, L.; Suniaga, J. y Montilla, E. 2009. Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. *Agricultura Andina*. 16: 56- 69.

Russell, J. 2014. *Las Condiciones del suelo y el Desarrollo de las plantas*. Ed. Revolucionaria. La Habana, Cuba. p. 509 – 526.

Sangwan, P.; Kaushik, C. P. and Garg, V. K. 2008. Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicomposters using exotic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 99: 2442–2448.

Santos, M.; Segura, M. y Núñez, C. E. 2010. Análisis del crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Fac. Nac. Agr. Medellín*. 63(1): 5253 – 5266.

Schaefer, H. and Renner, S. S. 2011. Phylogenetic relationships in the order Cucurbitales and a new classification of the gourd family (*Cucurbitaceae*). *Taxon* 60: 122–138.

Shu, Z.; Qing, W.; Rui, W. and Shu, X. 2011. Changes in bacterial community of anthracene bioremediation in municipal solid waste composting soil. *Journal of Zhejiang University-Science*. 12(9): 760-768.

SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pecuaria. El cultivo del pepino [en línea]. Disponible en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). [Consulta: noviembre, 14 2017]

Soca, M. 2000. Uso en la agricultura de las zeolitas naturales y modificadas. En resúmenes Taller Nacional de zeolitas Naturales. Unión Geológica Minera de Villa Clara, Cuba. p. 10.

Soca, M. 2012. Zeolitas. Sus usos agropecuarios. Editorial Dirección de Ciencia y Técnica. Ministerio de la Agricultura, Cuba. 165 p.

Suniaga, J.; Rodríguez, A.; Rázuri, L.; Romero, E. y Montilla, E. 2008. Fertilización, mediante fertirriego, durante diferentes etapas del ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de bosque seco premontano. *Agricultura Andina*. 15: 56-65.

Suslow, T. y Cantwell, M. 2013. Cucumber: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality [en línea]. Disponible en:[http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Pepino\\_796/](http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Pepino_796/). [Consulta: mayo, 16 2017]

Talavera J. M. 2005. Guías tecnológicas de frutas y vegetales [en línea]. Disponible en: <http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/pepino.pdf>. [Consulta: octubre, 5 2017]

Tan, Z.; Lal, R.; Owens, L. y Izaurralde, R. C. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Tillage Research*. 92: 53 - 59.

Torres, L. P.; Escobar, J. C.; Pérez, V. A.; Imery, V. R.; Nates, P.; Sánchez, G.; Sánchez, M. y Bermúdez, A. 2005. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). *Ingeniería e Investigación*. 25(2): 53-61.

Torres, P.; Pérez, A.; Escobar, J. C.; Uribe, I. E. y Imery, R. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng. Agríc. (Jaboticabal, Brazil)*. 27(1): 267-275.

Trinidad, A. y Velasco, J. 2016. Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad*. 9(8): 52 – 58.

Valadéz, L. A. 1990. Producción de Hortalizas. LIMUSA. México, D.F. 298 p.

Vázquez, Edith y Torres, S. 1995. Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 289 p.

Villegas, T.; Rodríguez, M.; Trejo, T. y Alcantar, G. 2001. Potencial de la miel de abeja en la nutrición de las plántulas de tomate. Terra Latinoamericana 19(1):97-102.

Waris, M. H.; Khan, A.; Ahmad, F.; Iqbal, M.; Shoaib, M. and Ullah, Z. 2014. Screening of cucumber varieties against downy mildew *Pseudoperonospora cubensis*? and its chemical management. Pak. J. Phytopathology. 29: 321-329.

Wróblewska A. 2012. The role of disjunction and postglacial population expansion on phylogeographical history and genetic diversity of the circumboreal plant *Chamaedaphne calyculata*. Biological Journal of the Linnean Society 105: 761-775.

Yadav, S.; Yogeshwar, K. S.; Yadav, M. K.; Subhash, B. y Kalyan, S. 2013. Effect of organic nitrogen sources on yield, nutrient uptake and soil health under rice (*Oryza sativa*) based cropping sequence. Indian Journal of Agricultural Sciences. 83(2): 170–175.

Yang, X.; Zhang, W.; He, H.; Nie, J., Bie, B.; Zhao, J.; Ren, G.; Li, Y.; Zhang, D.; Pan, J. and Cai, R. 2014. Tuberculate fruit gene Tu encodes a C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> zinc finger protein that is required for the warty fruit phenotype in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant J. 78: 1034–1046.

Zérega, L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Caña de Azúcar. 11(2): 71-92.

Zhang, W.; He, H.; Guan, Y.; Du, H.; Yuan, L.; Li, Z.; Yao, D.; Pan, J. and Cai, R. 2010. Identification and mapping of molecular markers linked to the tuberculate fruit gene in the cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theor. Appl. Genet.* 120: 645–54.