



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Fertilizantes completos con zeolita natural. Una alternativa sostenible en el cultivo del tomate.



Autor: Claudia López Paz.

Tutor: MSc. Héctor Juan Díaz Álvarez.

Matanzas
2019.

Pensamiento

**...imperiosa necesidad de
volvemos hacia la tierra
y hacerla producir más.**

Raúl Castro Ruz.



Nota de aceptación.

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Dado en Matanzas, el día ____ del mes de _____ del año 2019.

“Año 61 de la Revolución”

Declaración de autoridad.

Declaro que yo, Claudia López Paz, soy la única autora de este Trabajo de Diploma por lo que autorizo a la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

Dedicatoria.

A mis adorados padres Marvelys y Juan Carlos por su apoyo incondicional y desinteresado para la culminación de mi carrera.

Agradecimientos.

Agradecer este trabajo a mi tutor MSc. Héctor Juan Díaz Álvarez que sin él no hubiese sido posible, me brindó todo su apoyo, me aportó parte de sus conocimientos y también su preciado tiempo.

Al profesor Dr. C. Ramón Liriano González.

A mi familia por el amor y apoyo que siempre me han brindado.

A mi novio por su paciencia y comprensión.

A todos mis profesores por contribuir a mi formación como profesional.

A mis compañeros por todos los momentos de estudio y alegrías.

**A todos,
Muchas gracias.**

Opinión del tutor.

La estudiante Claudia López Paz ha concluido exitosamente sus estudios de Ingeniería Agronómica con buenos resultados académicos, así como con una alta dedicación, preocupación e independencia, actitud digna de destacar durante el desarrollo de su trabajo de diploma.

El trabajo fue desarrollado en la C.P.A. “Evelio Valenzuela”, municipio Jovellanos provincia Matanzas bajo el título: Fertilizantes completos con zeolita natural. Una alternativa sostenible en el cultivo del tomate donde mostró elevada seriedad y gran responsabilidad.

Su trabajo además se caracterizó por la búsqueda de bibliografía actualizada que le permitieron abordar la temática con profundidad, a partir de los contenidos de las asignaturas experimentación agrícola, ciencias del suelo y sistema de producción agrícola, lo que le permitió presentar y discutir los resultados desde el punto de vista científico, a la vez que demostró independencia en el procesamiento estadístico de los resultados y dominio de los software profesionales WORD, EXCEL y STATGRAPHICS. La tesis tiene valor científico ya que evalúa una alternativa a la fertilización mineral con disminuciones importantes de nutrientes lo que trae consigo ahorros importantes de materias primas y menores riesgos de contaminación del medio ambiente con incrementos en los rendimientos agrícolas.

Por todo lo anteriormente expuesto, consideramos que la estudiante Claudia López Paz es merecedora que se le otorgue el título de Ingeniera Agrónoma.

Tutor. MSc. Héctor Díaz Álvarez

Resumen.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la reducción del 25% y 50% de las cantidades de nutrientes minerales contenidos en las formulaciones con la sustitución de iguales porcentajes de zeolita natural en la producción de fertilizantes mezclados destinados al cultivo del tomate, para lo cual se desarrolló un experimento en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Evelio Valenzuela, en el cultivo del tomate, variedad Campbell-28. Se estudiaron cuatro tratamientos: control, fórmula 8-9-14, fórmula 6-7-10 con 75% de nutrientes y 25% de zeolita natural y fórmula 4-4,5-7 con 50% de nutrientes y 50% de zeolita natural, a $660 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ más una dosis de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea. Se evaluó altura de las plantas, análisis foliar, número de racimos y frutos por planta, peso de los frutos, rendimiento ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), contenido de materia seca en frutos, se calculó los kg de frutos por kg de nutriente aplicado y la Eficiencia Agrícola Relativa. La aplicación de las diferentes fórmulas de fertilizantes granulados no mostró diferencias en las propiedades químicas del suelo. El número de racimos y frutos por planta, y peso de los frutos se incrementó con la fórmulas 6-7-10 + 25% de zeolita natural y 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural. Los valores más altos de rendimiento se obtienen con la fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural con $33,73 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Los valores de la eficiencia agronómica relativa y kg de frutos por kg de nutrientes aplicados ratifican las fórmulas con zeolita natural como las de mejor eficiencia.

INDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA.	4
2.1 Las rocas zeolíticas.	4
2.1.1 Características y propiedades.	4
2.1.2 Clasificación de las zeolitas atendiendo a su estructura y composición química.	4
2.1.3 Clasificación de las zeolitas de acuerdo a los contenidos de cationes presentes.	5
2.1.4 Yacimientos de rocas zeolíticas en Cuba.	6
2.1.5 Propiedades de los minerales zeolíticos.	6
2.1.6 Usos en la agricultura.	8
2.1.7 Principales limitantes en el uso de las rocas zeolíticas en Cuba.	9
2.2 El cultivo del tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L).	10
2.2.1 Importancia económica y alimenticia.	10
2.2.2 Clasificación taxonómica.	11
2.2.3 Características botánicas.	12
2.2.4 Exigencias ecológicas del cultivo del tomate.	13
2.2.5 Características importantes del cultivar Campbell-28.	14
2.2.6 Fertilización del cultivo del tomate.	15
2.2.7 Cosecha y poscosecha del tomate.	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	19
3.1 Material de siembra utilizado.	19
3.2 Características generales del estudio agronómico.	19
3.3 Tratamientos estudiados.	19
3.4 Evaluaciones realizadas.	19
3.4.1. Determinación de las propiedades químicas del suelo.	19
3.4.2 Determinación de variables del crecimiento, rendimiento y sus componentes en el cultivo del tomate.	20
3.4.3 Cálculo de kg de frutos: kg de nutriente aplicado.	20

3.4.4 Cálculo de la Eficiencia Agrícola Relativa.	21
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.	21
3.6. Análisis económico.	21
4. RESULTADOS Y DISCUSION.	22
4.1 Análisis de las propiedades químicas del suelo.	22
4.2 Variables del crecimiento, rendimiento y sus componentes en el cultivo del tomate.	23
4.2.1 Altura de las plantas (cm).	23
4.2.2 Análisis foliar (%).	23
4.2.3 Número de racimos por planta, frutos por planta y peso de los frutos.	25
4.2.4 Análisis de los rendimientos agrícolas.	26
4.2.5 Contenido de materia seca en los frutos pintones de la primera cosecha (%).	28
4.3 Análisis de la Eficiencia Agronómica Relativa (E.A.R.) y kg de frutos por kg de nutriente aplicado según la fórmula de fertilizante granulado aplicado.	29
4.4 Valoración económica.	32
5. CONCLUSIONES.	34
6. RECOMENDACIONES.	35
7. BIBLIOGRAFIA.	36

1. INTRODUCCIÓN.

En Cuba, el triunfo de la revolución le exigió a la agricultura proporcionar para su población un mayor número de alimentos, tanto en cantidad como en calidad y para alcanzar este reto de poder incrementar la producción agrícola para abastecer al crecimiento de la población, únicamente existían dos factores posibles: aumentar las superficies de cultivo y proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos.

La aparición de la llamada “Agricultura Verde” durante el pasado siglo surge posterior a la Segunda Guerra Mundial, en la década de los 50 con el desarrollo de la industria petroquímica y química y trajo consigo entre otros aspectos, la aparición de variedades con altos rendimientos (híbridos), lo que revolucionó el mundo, no siendo Cuba una excepción, siendo la responsable a mediano plazo del inicio de la destrucción de los ecosistemas agropecuarios por el uso indiscriminado de los agroquímicos, dejando a un lado las prácticas agronómicas propias de cada región y país.

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2012) representa uno de los componentes más frecuentes de la dieta y su uso está generalizado en el arte culinario por su apariencia, color, aroma, firmeza y sabor.

La aplicación de bioproductos para las producciones agropecuarias, es una premisa ante los actuales desafíos de la agricultura. Especialmente en el tomate la utilización de estos productos cobra mayor importancia dado que este cultivo representa alrededor del 40% de la producción total de hortalizas.

El uso y manejo inadecuado de los suelos de cultivo y la aplicación intensiva de agroquímicos a nivel mundial, ha provocado en éstos, severos procesos de deterioro ambiental que se reflejan en su desactivación biológica y en la pérdida de sus condiciones para producir, lo que pone en serio riesgo la seguridad alimentaria de la sociedad.

En la actualidad resulta de gran importancia la búsqueda de variantes que permitan el desarrollo de una agricultura rentable y menos contaminante del medio ambiente. En los últimos 15 años, se ha podido apreciar una reducción significativa en la utilización

de agroquímicos en la agricultura, produciendo una lenta pero significativa introducción de medios alternativos para el control de patógenos y fertilización de los cultivos.

Los preparados orgánicos son la principal reserva natural de los nutrientes, además incrementan la absorción de los mismos, potencialmente asimilables por las plantas. La conservación y el manejo de la misma es la vía más económica para optimizar la nutrición vegetal y desempeña, por lo tanto, una función importante en la fertilidad del suelo y del sustrato influyendo notablemente en las propiedades físicas como la formación de agregados estables y la retención de la humedad.

Por todo lo anteriormente planteado, se propone el siguiente **problema científico**:

Se desconoce la efectividad agrícola de los fertilizantes granulados mezclados con zeolita natural como alternativa sostenible para el cultivo del tomate.

Como **hipótesis científica** de trabajo se plantea:

La inclusión en los fertilizantes granulados mezclados de la zeolita natural cubana en el orden del 25% y 50% en el proceso de producción de los mismos, pudieran reducir los portadores de nutrientes recomendadas por el Servicio Agroquímico Nacional e incrementar los rendimientos agrícolas y calidad biológica de los frutos, como alternativa sostenible para el cultivo del tomate.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la influencia de la reducción del 25% y 50% de las cantidades de nutrientes minerales contenidos en las formulaciones recomendadas por el Servicio Agroquímico Nacional con la sustitución de iguales porcentajes de zeolita natural cubana en la producción de los fertilizantes granulados mezclados destinados nacionalmente al cultivo del tomate.

Objetivos específicos

- 1.- Evaluar el efecto de la aplicación de dosis iguales de fertilizantes granulados mezclados con el 0%, 25% y 50% de zeolita natural, sobre algunos parámetros de crecimiento, rendimiento agrícola y sus componentes, así como la calidad de los frutos en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- 2.- Valorar la respuesta del cultivo del tomate a la aplicación de fertilizantes con y sin zeolita natural en los indicadores de eficiencia agronómica relativa (E.A.R.) y kg de frutos producidos por kg de nutrientes aplicados.
- 3.- Determinar las propiedades químicas y contenidos asimilables de fósforo y potasio en el suelo.
- 4.- Valorar económicamente la reducción de materias primas fertilizantes con la inclusión de la zeolita natural cubana, en la producción de los fertilizantes granulados mezclados destinados al cultivo del tomate, con las dosis establecidas por el Servicio Agroquímico Nacional.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 Las rocas zeolíticas.

2.1.1 Características y propiedades.

La definición del termino zeolita procede del griego *zéoy líthos* lo 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 alcalino-térreos predominantemente de sodio y calcio y presentan características relevantes tales como, 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 Si^{4+} y Al^{3+} (Mumpton, 1999).

Brito *et al.* (2013) definen que comercialmente “Zeolita Natural” es en realidad una roca cuyos componentes principales son uno o varios minerales del grupo de las zeolitas en contenidos globales del 50% como mínimo, entre otras.

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.

2.1.2 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 Si^{4+} : 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 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^{-1}
- Capacidad de adsorción: $<0,35 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$
- 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).

2.1.3 Clasificación de las zeolitas de acuerdo a los contenidos de cationes presentes.

Soca (2012) clasifica los yacimientos de zeolitas según los cationes extraídos de la siguiente forma (observar tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los yacimientos de zeolitas de acuerdo a los análisis de laboratorio de cationes.

Tipo de yacimiento	Relación de cationes según su participación	Campo de empleo
Cálcico - Sódico	Na^+ , Ca^{2+} , K^+	Intercambio iónico
Sódico - Cálcico	Ca^{2+} , Na^+ , K^+	Adsorción
Cálcico - Potásico	K^+ , Ca^{2+} , Na^+	Producción Agrícola
Potásico - Cálcico	Ca^{2+} , K^+ , Na^+	Producción Pecuaria

2.1.4 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.

2.1.5 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 *et al.* (2013) y Pérez (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⁻¹.

En 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 SiO₂.Al₂O₃⁻¹ (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 g.cm³ 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⁻¹.

2.1.6 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_3 y el SH_2 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.

2.1.7 Principales limitantes en el uso de las rocas zeolíticas en Cuba.

Dentro de los aspectos que han limitado el uso de las zeolitas 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 Dr. C. Gerardo Rodríguez Fuentes, este resaltó que lo más lamentable radicó en la no utilización de un grupo de resultados científicos que cayeron en el más absurdo olvido.

2.2 El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L).

2.2.1 Importancia económica y alimenticia.

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico (FAO, 2012) representa uno de los componentes más frecuentes de la dieta y su uso está generalizado en el arte culinario por su apariencia, color, aroma, firmeza y sabor (Baldwin *et al.*, 2008).

El tomate según Gerszberg *et al.* (2015) es muy común en todo el mundo y se ha convertido en un cultivo de gran importancia económica. El cultivo ha logrado popularidad, especialmente en los años recientes con el descubrimiento de la actividad

antioxidante y anticancerígena del licopeno (Wu *et al.*, 2011; Raiola *et al.*, 2014), lo cual ha incrementado su producción y consumo.

Los frutos de tomate presentan alto contenido de compuestos antioxidantes (licopeno, β -caroteno, vitamina A, C y E) y metabolitos secundarios, los cuales son de gran importancia para prevenir diferentes tipos de enfermedades y patologías tales como: enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, hipertensión arterial y la obesidad (Davidson y Touger-Decker, 2009; Causse *et al.*, 2010).

La importancia de los frutos del tomate es señalada también por Maroto (2008); El-Mergawi y Al-Redhaiman (2010) y Poiroux-Gonord *et al.* (2010) quienes coinciden en afirmar que los frutos del tomate representan uno de los componentes más frecuentes de la dieta humana, debido a su notable riqueza en: vitaminas, azúcares, compuestos antioxidantes, pigmentos carotenoides (β -carotenos y licopeno), microelementos, metabolitos secundarios, sales minerales y fibras, así como sus excelentes cualidades gustativas, que mejoran el apetito y ayudan a la digestión de los alimentos.

El fruto es fuente de vitaminas A, B1, B2, B6, C y E, y de minerales como fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio. Tiene un importante valor nutricional ya que incluye proteínas, hidratos de carbono, fibra, ácido fólico, ácido tartárico, ácido succínico y ácido salicílico. El aporte de cada 100 g de nutrientes del tomate en agua es del 93,5%. En cuanto a calorías es de 23 kcal, proporcionando al organismo la energía que necesita para realizar las actividades diarias (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

2.2.2 Clasificación taxonómica.

Según Spooner *et al.* (2005) el tomate desde el punto de vista taxonómico pertenece a:

División: *Spermatophyta*

Subdivisión: *Magnoliophytina*

Clase: *Dicotiledoneas*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

2.2.3 Características botánicas.

El sistema radical del tomate según Huerrez y Caraballo (1996), consta de una raíz principal y un sistema de raíces adventicias, la raíz principal puede alcanzar más de 120 cm de longitud, pero el mayor volumen de su sistema radical se encuentra en un espesor de suelo de 60 - 70 cm de profundidad, en tal sentido Infoagro (2015) plantea que el sistema radical alcanza una profundidad de hasta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cultivo, se daña la raíz pivotante y la planta desarrollada resulta en un sistema radical fasciculado, en que dominan raíces adventicias y que se concentran en los primeros 30 cm del perfil de suelo.

El tallo es grueso, pubescente, anguloso y de color verde, mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares (Monardes, 2009). Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea; está compuesto de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Escobar y Lee, 2009).

Las hojas son compuestas, presenta de siete a nueve folíolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y cenicento por el envés. Se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo (Monardes, 2009).

La flor del tomate es perfecta. Consta de cinco o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente "racimos". La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada dos o tres hojas en las axilas (Calleja, 2009; INTA, 2014).

El fruto es una baya bilocular o plurilocular, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Infoagro, 2015).

La semilla de tomate es aplanada y de forma lenticelar con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm. Si se almacena por periodos prolongados se aconseja hacerlo a humedad del 5,5%. Una semilla de calidad deberá tener un porcentaje de germinación mayor del 95% (Infoagro, 2015).

2.2.4 Exigencias ecológicas del cultivo del tomate.

Los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo del tomate dependen de las condiciones del clima, del suelo y de las características genéticas de la variedad (Gómez *et al.*, 2010).

En cuanto a su distribución, Ruiz *et al.* (2013) plantea que puede desarrollarse entre los 40°LN a 40°LS, por lo que mientras más se acerca hacia áreas tropicales (21-23°LN), más se adapta a altitudes cercanas al nivel del mar.

La temperatura es uno de los principales factores ambientales que afecta la eficiencia de la fotosíntesis y limita los rendimientos de los cultivos hortícolas (Maroto, 2008). En tal sentido, Gómez *et al.* (2010) señalan que el tomate es una planta hortícola, que se desarrolla muy bien en climas con temperaturas entre 18°C y 26°C, pero exige temperaturas nocturnas de 17°C ± 3 °C y diurnas de 23°C ± 3°C para su mejor desarrollo y fructificación.

Cagas *et al.* (2008) y Florido *et al.* (2010), coinciden en plantear que las altas temperaturas provocan modificaciones en las funciones de las plantas de tomate, llegando a impedir la fotosíntesis y a desorganizar los sistemas enzimáticos necesarios para el desarrollo de su ciclo biológico, lo que provoca a su vez una disfunción en los cloroplastos y una reducción en la asimilación de CO₂ atmosférico.

Se ha demostrado científicamente que una temperatura por encima de de 35⁰C afecta la fructificación, la calidad de los frutos, el desarrollo general de la planta de tomate y su productividad (Gómez *et al.*, 2010).

Las bajas temperaturas afectan negativamente la fotosíntesis, la traslocación de nutrientes, alteran la permeabilidad de las membranas y disminuyen la respiración de las plantas de tomate. Si la intensidad o duración de las bajas temperaturas es limitada, estos procesos pueden recuperar sus valores normales, de lo contrario son afectados en forma irreversible (Colombo y Obregón, 2008).

La luz o régimen luminoso es otro factor importante en la producción de tomate. Los efectos de la intensidad luminosa sobre el crecimiento de las plantas, están relacionados principalmente con la fotosíntesis y la transpiración vegetal (Gómez *et al.*, 2010). El tomate necesita condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización y maduración de los frutos pueden verse afectados (Casanova *et al.*, 2007).

Se ha comprobado en investigaciones desarrolladas por Tasuke *et al.* (2008) que las plantas de tomate sometidas a altas intensidades de luz, generalmente presentan enrollamiento fisiológico de las hojas inferiores y sus frutos contienen altos niveles de vitamina C. Hemaprabha y Balasarawathi (2008), confirmaron que la calidad de los frutos de tomate se ve afectada por la acción de la luz, la cual tiene un marcado efecto sobre la formación de pigmentos carotenoides y sustancias colorantes, no siendo así con el licopeno.

Jaramillo *et al.* (2007) refieren que las exigencias de las plantas de tomate en cuanto a la humedad del suelo son medias y están determinadas por las características del sistema radical y de las hojas, e informan que la deficiencia de humedad en el suelo altera el metabolismo de la planta de manera general y la calidad de los frutos.

La humedad relativa es considerada uno de los factores que mayor incidencia tiene sobre la productividad y la calidad de los frutos del tomate (Colombo y Obregón, 2008). Se ha informado por Gómez *et al.* (2010) que los valores más favorables para el desarrollo del tomate se consideran del 50% al 60%, ya que los altos valores de este indicador favorecen el ataque de plagas y enfermedades.

2.2.5 Características importantes del cultivar Campbell-28.

Las características del cultivar Campbell-28 son reportadas por Huerres y Caraballo (1996), Martínez *et al.* (2004) y Rodríguez *et al.* (2017); quienes exponen que este cultivar fue cultivado durante muchos años en Cuba cediendo espacio al desarrollarse híbridos de alto potenciales productivos. Tuvo un fuerte impacto en la producción tomatera, por ser una variedad con posibilidades de siembra a cielo abierto y revolcado, de alta productividad y calidad para el consumo en fresco. Es una planta vigorosa, posee un tipo de crecimiento determinado, de poco follaje siendo sus frutos grandes,

redondos y ligeramente aplastados, sin hombros y se encuentran, ligeramente acostillados, con diámetros longitudinales medios, susceptibles a golpes y con poca resistencia a las pudriciones. Es de doble propósito y ciclo vegetativo de 100-120 días. Las características vegetativas-florales de este cultivo están dadas por el tipo de inflorescencia que es simple, la densidad del follaje intermedia, y la presencia de la capa de abscisión. Además, necesita 45 días para la floración y 91 para la maduración. El peso promedio de sus frutos oscila en los 94,54 g y su rendimiento en el orden de las 21,05 t.ha⁻¹.

2.2.6 Fertilización del cultivo del tomate.

En Cuba, la recomendación de fertilizantes para el cultivo del tomate, se realizó en las primeras etapas de conformado el Ministerio de la Agricultura por los Grupos Nacionales creados al efecto para la atención de los diferentes cultivos, posteriormente, la creación del Servicio Agroquímico Nacional (Metodología del Servicio Agroquímico Nacional, 1975) establece para todos los cultivos del país, las dosis de N-P₂O₅-K₂O en kg.ha⁻¹ a aplicar partiendo de dosis básicas establecidas que se correspondían con los resultados científicos obtenidos en el país hasta el momento, las que se modificaban por coeficientes tales como el rendimiento, riego y secano, coeficiente de utilización de los nutrientes, categorías de P₂O₅ y K₂O en el suelo y grupos morfológicos de suelos obtenidos del entonces mapa básico de los suelos 1:50 000, lo que constituyó para esa etapa un éxito en la fertilización, aún con sus limitaciones propias.

Huerres y Caraballo (1996) al citar las dosis de fertilización empleada en Cuba expresa que se han establecido de acuerdo con los criterios del Servicio Agroquímico que a su vez tomó en consideración:

- a.- Resultados experimentales.
- b.- Análisis de Suelos.
- c.- Tipo de Suelos.

De forma general, los autores señalan que en el tomate se aplican de 0,59-1,86 t.ha⁻¹ de la fórmula 8-7,5-12 y 0,07-0,47 t.ha⁻¹ de 33-0-0 que proporciona al suelo 125-244 kg.ha⁻¹ de N, 42-142 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 72-232 kg.ha⁻¹ de K₂O.

Gómez *et al.* (2010) al analizar la fertilización de este cultivo expone que el fertilizante de fórmula completa, se aplica a razón de 1,0 t.ha⁻¹ de tres a cuatro días antes del trasplante, debiendo quedar a unos 10 cm de profundidad y completamente tapado, la labor se realiza de forma manual, mecanizada o con tracción animal. Después del trasplante (25-30 días), se aplica nitrógeno adicional a razón de 0,50 t.ha⁻¹ de urea (46 %) o nitrato de amonio.

En las condiciones de Cuba, una tonelada de frutos de tomate extrae 2,28 kg.ha⁻¹ de N; 0,90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 5,6 kg.ha⁻¹ de K₂O en época óptima de producción. Las dosis de fertilizantes químicos recomendadas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Dosis de NPK recomendada en el cultivo del tomate.

Elemento	Sistema de Manejo (Sin Tutores kg.ha ⁻¹)	Sistema de Manejo (Con tutores kg.ha ⁻¹)
N	100-120	200
P ₂ O ₅	50-60	100
K ₂ O	75-100	160

Algunos biofertilizantes y bioproductos de producción nacional, se han venido empleando con éxito en la producción hortícola nacional. Recientemente se viene validando el Fitomas E[®], estimulante del crecimiento y desarrollo de la planta, recomendado la dosis de 1 L.ha⁻¹ en el cultivo del tomate, aplicado en la fase vegetativa, previo a la floración y otra dos aplicaciones de 0,5 L.ha⁻¹, en la fructificación y desarrollo del fruto, respectivamente, también recomiendan la aplicación de materia orgánica a razón de 30 m³.ha⁻¹, preferiblemente cachaza o estiércol vacuno, bien descompuestos y certificados, el abono orgánico se depositará en el fondo del surco (Gómez *et al.*, 2010).

Moya *et al.* (2007) al analizar la nutrición del cultivo del tomate expone que las plantas, precisan una nutrición adecuada para poder asegurar un normal desarrollo. El follaje toma el carbono de la atmósfera y las raíces extraen el agua y los nutrientes del suelo; ambas partes de la planta interactúan para hacer posible su crecimiento. Para que el funcionamiento metabólico de la planta sea adecuado y su desarrollo óptimo, es

necesario que las sustancias nutritivas se encuentren en equilibrio, interactuando en forma armónica; un exceso o déficit ocasiona plantas débiles susceptibles a plagas y enfermedades, baja calidad alimentaria y cosechas de poca durabilidad. El tomate es exigente en cuanto a niveles de nutrición mineral apropiados, debido principalmente al gran volumen de frutos producidos por unidad de superficie.

Castellanos *et al.*: (2000) citado por Ruiz *et al.* (2013) al analizar la fertilidad y química del suelo respecto al cultivo del tomate, expone que para un rendimiento aproximado de 50 t.ha⁻¹, se requieren aproximadamente de N-P₂O₅-K₂O-MgO-Ca: 200, 115, 208, 37 y 41 kg.ha⁻¹, respectivamente y según el nivel de P₂O₅ en el suelo, la cantidad a agregar (kg.ha⁻¹) para un rendimiento de 80 t.ha⁻¹ es: muy bajo, de 55-60; bajo, de 40-50; moderadamente bajo, 30-40; medio, 22-30; moderadamente alto; 18-22 y alto, 0-18.

2.2.7 Cosecha y poscosecha del tomate.

La cosecha del tomate es manual, generalmente escalonada y se realiza en varias etapas, según el período de producción de las plantas. Al cosechar se debe considerar el estado de madurez y el destino que se le dará al producto y en otros casos se determina por el tamaño y la coloración del fruto (Gómez *et al.*, 2010).

Taiz y Zeiger (2010) plantean que existen diferentes estados de madurez de los frutos y los más importantes son:

- Madurez fisiológica. Es el estado de desarrollo de los frutos de este cultivo que permite que continúe su desarrollo, aún después de cosechados.
- Madurez comercial. Es la etapa de desarrollo de los frutos que permite tener los requisitos para su consumo u otros fines específicos.
- Madurez organoléptica. Son los últimos estadios de crecimiento y desarrollo de los frutos y el inicio de la senescencia que resultan en la sumatoria de características estéticas y/o de calidad, nutritiva del producto, se visualizan cambios de composición, color y textura.
- Senescencia. Es el proceso que sigue a la madurez fisiológica o comercial de los frutos, y que lleva a la muerte de los tejidos vegetales.

En Cuba los rendimientos alcanzados son bajos, al igual que en la gran mayoría de los países tropicales. Esto se debe al efecto negativo que ejercen los factores climáticos y la alta incidencia de plagas en el cultivo (Morales, 2010; Gongolee, *et al.*, 2015).

Otro aspecto importante es la calidad interna del tomate, la cual es estimada tanto a partir de estudios sensoriales como mediante mediciones de indicadores como: sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (Anjanappa *et al.*, 2013).

En los frutos del tomate según Sortino *et al.* (2013) los porcentajes relativos de carbohidratos, lípidos, proteínas, fibras y vitaminas son medios, debido a la gran cantidad de agua que contiene esta especie. La fibra está compuesta principalmente por carbohidratos, con valores de fibra dietética que ascienden hasta el 80% del total de fibra, siendo la parte insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) el componente principal, relegando a la fibra soluble (pectinas) a un segundo plano (Navarro-González *et al.*, 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Material de siembra utilizado.

Se utilizó semilla botánica, suministradas por la Unidad Empresarial de Base (UEB) Semillas Varias Matanzas, con valores de germinación y pureza física superiores al 95%, se utilizó el trasplante como método de siembra, el manejo agrotécnico se realizó según las recomendaciones de Gómez *et al.* (2010) en la guía técnica para la producción del cultivo del tomate.

3.2 Características generales del estudio agronómico.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se desarrolló un experimento en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) "Evelio Valenzuela" ubicada en el poblado de Carlos Rojas, municipio de Jovellanos, provincia de Matanzas, en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Campbell-28; sobre un suelo ferralítico rojo háplico eútrico (Hernández *et al.*, 2015).

3.3 Tratamientos estudiados.

T1 = Control (sin fertilización).

T2 = Incorporación de la dosis recomendada con la fórmula 8-9-14.

T3 = Aplicación de la dosis recomendada con la fórmula 6-7-10 que contienen el 75% de los nutrientes y un 25% de zeolita natural.

T4 = Aplicación del 50% de los nutrientes con la fórmula 4-4,5-7 que contiene además un 50% de zeolita natural.

3.4 Evaluaciones realizadas.

3.4.1. Determinación de las propiedades químicas del suelo.

La determinación de las propiedades químicas del suelo fue realizada en el Laboratorio Provincial de Suelos y Fertilizantes, según los métodos y técnicas reportadas en las normas cubanas establecidas al efecto. Los criterios de evaluación para los diferentes parámetros químicos analizados fueron:

- Determinación del pH. Método potenciómetro.
- Determinación de la Capacidad de Cambio Catiónico (CCC). Método del acetato de amonio 1N a pH 8,5. (Metódica de Schachabel).
- Determinación de K⁺ y Na⁺ intercambiables. Método del espectrofotómetro de emisión a 766 nm.
- Determinación de Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiable. Método de valoración con EDTA.
- Determinación de P₂O₅ y K₂O asimilables. Método de Oniani.
- Determinación de la Materia orgánica. Método de Walkley-Black.

3.4.2 Determinación de variables del crecimiento, rendimiento y sus componentes en el cultivo del tomate.

1. Altura de las plantas. Se determinó a los 20, 40 y 60 días después del trasplante con una regla graduada en cm desde el nivel del suelo hasta el primer foliolo.
2. Análisis foliar (%). Se tomaron 15 muestras en el periodo de floración, entre la tercera y cuarta hoja de la planta, determinando nitrógeno, fósforo y potasio.
3. Número de racimos por planta. Por conteo directo.
4. Número de frutos por planta. Por conteo directo.
5. Peso de los frutos. Se determinó al momento de la cosecha. El pesaje se realizó con una balanza técnica.
6. Rendimiento (t.ha⁻¹).
- 7.- Contenido de materia seca en los frutos pintones de la primera cosecha (%). Las muestras se colocaron a 70⁰C en estufa hasta alcanzar peso constante. El pesaje se realizó con una balanza analítica.

3.4.3 Cálculo de kg de frutos por kg de nutriente aplicado.

Se realizó convirtiendo las toneladas de rendimiento en kilogramos, dividiéndolas posteriormente entre la sumatoria de los kilogramos aplicados de N-P₂O₅-K₂O. La fórmula es la siguiente

kg.de frutos / kg.de nutriente aplicado de N+P₂O₅+K₂O (kg.ha⁻¹).

3.4.4 Cálculo de la Eficiencia Agrícola Relativa.

Este cálculo fue utilizado por Osuna *et al.* (2012) y consiste en la siguiente fórmula:

E.A.R: $R. F. \text{ zeo} - R. \text{ parc. no fert.} / R. F. \text{ tradic.} - R. \text{ parc. no fert.} \times 100$, donde:

R.F.zeo: Rendimiento promedio ($t.ha^{-1}$) de las parcelas donde se aplicó el fertilizante con zeolita natural.

R. parc. no fert: Rendimiento promedio ($t.ha^{-1}$) de la parcela no fertilizada.

R.F. tradic: Rendimiento promedio ($t.ha^{-1}$) de las parcelas donde se aplicó el fertilizante tradicional.

100: Para expresarlo en %.

3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar. Los datos de porcentaje fueron transformados a $\sqrt{P+1}$, para garantizar la normalidad de los datos. Se realizó un análisis de varianza simple, aplicando 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 STATGRAPHICS Plus Versión 5,0 para Windows.

3.6. Valoración económica.

Para la valoración económica se compararon los costos de las materias primas utilizadas para la producción de las diferentes fórmulas de fertilizantes granulados mezclados con y sin zeolita natural, expresados en USD/t.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Análisis de las propiedades químicas del suelo.

Los resultados de la influencia de las diferentes fórmulas fertilizantes en las propiedades químicas del suelo se presentan en la tabla 3 donde se aprecia que no existe diferencias estadísticas en los parámetros del pH, materia orgánica, bases cambiables y CCC dado que las dosis de zeolita natural en los fertilizantes no alcanzaron los niveles reportados para convertirse además de portadores de nutrientes en mejoradores de este tipo de suelo. Soca (2012) reporta que dosis de 7 t.ha⁻¹ son necesarias para el mejoramiento de los suelos Ferralíticos Rojos.

Respecto a los contenidos de fósforo y potasio asimilable se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas entre el tratamiento no fertilizado y los fertilizados dado que la fertilización fue realizada basada en los principios del Servicio Agroquímico Nacional (1975) que no solo recomienda nutrientes para el cultivo sino además para elevar y mantener la fertilidad del suelo. Respecto a los tratamientos fertilizados no se obtuvieron diferencias estadísticas entre ellos, aunque se manifestó una tendencia al aumento cuando se empleó el 25% de zeolita natural.

Tabla 3. Análisis propiedades químicas de un suelo.

Tratamientos	pH	Materia Orgánica (%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CCC	P ₂ O ₅	K ₂ O
			mmles.100g ⁻¹					mg.100g ⁻¹	
Control (sin fertilización)	6,4	3,46	13,43	2,67	0,53	0,07	19,32	5,65 ^b	8,46 ^b
Fórmula 8-9-14	6,3	3,46	14,45	2,79	0,72	0,09	19,97	8,04 ^a	13,45 ^a
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	6,5	3,67	13,87	2,67	0,61	0,04	18,76	9,43 ^a	15,11 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	6,3	3,79	14,02	2,96	0,69	0,05	19,07	7,73 ^b	12,4 ^a
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
Sx	0,11	0,21	0,30	0,09	0,04	0,09	0,32	1,22	0,99

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

4.2 Variables del crecimiento, rendimiento y sus componentes en el cultivo del tomate.

4.2.1 Altura de las plantas (cm).

Los resultados de la altura de las plantas a los 20, 40 y 60 días después del trasplante (observar tabla 4) muestra diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 4. Altura de las plantas (cm).

Tratamientos.	20 días.	40 días.	60 días.
Control (sin fertilización)	19,4 ^b	38,6 ^b	54,4 ^c
Fórmula 8-9-14	22,7 ^a	52,1 ^a	65,6 ^b
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	24,8 ^a	50,5 ^a	71,4 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	21,9 ^a	53,5 ^a	65,9 ^b
Sig.	--	--	--
Sx	0,543	0,858	0,814

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

Los menores valores en altura se manifiestan en el tratamiento sin fertilizar el cual difiere de manera significativa de los tratamientos fertilizados, estos a su vez no difieren entre sí, excepto a los 60 días después del trasplante donde el tratamiento con fórmula 8-9-14 difiere de las fórmulas 6-7-10 y 4-4,5-7, manifestando estos últimos la mayor altura con 71,4 cm y 65,9 cm respectivamente. Los valores en altura son similares a los reportados por Monzón (2016) al estudiar un amplio grupo de cultivares de tomate.

4.2.2 Análisis foliar (%).

Tomando como base los parámetros evaluativos de los niveles foliares del cultivo del tomate reportados por Molina (2016) los tenores de nitrógeno para las diferentes fórmulas de fertilizantes se evalúan de bajo para el tratamiento sin fertilizante y de normal para el resto. En cuanto a su análisis estadístico la fórmula 6-7-10 difiere de las restantes por sus mayores niveles no siendo así para las fórmulas 8-9-14 y la 4-4,5-7.

Respecto al fósforo, se obtienen diferencias estadísticas entre el tratamiento no fertilizado y los fertilizados, evaluándose los tenores del primero como bajo y los restantes de normales y el potasio, reportó el mismo comportamiento que el fósforo en lo que respecta al análisis estadístico, aunque sus tenores en los tratamientos fertilizados son evaluados como altos (observar tabla 5).

Tabla 5. Resultados del Análisis Foliar (%).

Tratamiento.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Control (sin fertilización)	1,75 ^c	0,17 ^b	1,4 ^b
Fórmula 8-9-14	4,67 ^b	0,44 ^a	6,9 ^a
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	5,45 ^a	0,49 ^a	7,4 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	4,86 ^b	0,41 ^a	6,7 ^a
Sig.	**	**	**
Sx	0,873	0,781	0,978

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

Este comportamiento de los niveles foliares del nitrógeno, fósforo y potasio puede ser explicado al analizar la figura 1 relativa a la absorción de nutrientes por el tomate expuesta por Molina (2016) donde se relaciona la absorción de los macroelementos primarios esenciales con los días transcurridos posterior al trasplante, donde en el entorno a los 45-50 días, periodo en que se inicia la floración y que coincide con la toma de muestras tal como lo sugiere López (2017) por el inicio de las mayores demandas de potasio, también de nitrógeno y comienzo del periodo de mayor absorción de fósforo, las exigencias nutricionales deben ser satisfechas con los portadores de nutrientes.

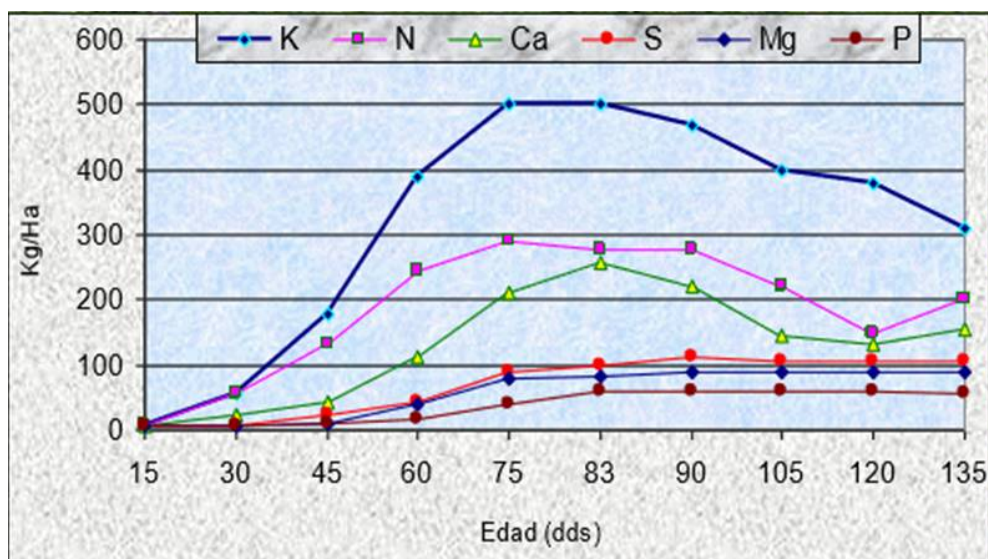


Figura 1. Absorción de nutrientes por el tomate
Fuente: Molina (2016).

4.2.3 Número de racimos por planta, frutos por planta y peso de los frutos.

Los parámetros que definen el rendimiento del cultivo, tales como el número de racimos por planta, número de frutos por planta y peso de los frutos, fueron realizados para la primera cosecha, los resultados estadísticos se exponen en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados del número de racimos por planta, frutos por planta y peso de los frutos.

Tratamientos.	Número de racimos por planta.	Número de frutos por planta.	Peso de los frutos. (g)
Control (sin fertilización)	3,8 ^b	8,7 ^b	65,42 ^c
Fórmula 8-9-14	5,6 ^a	11,3 ^a	89,45 ^b
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	6,2 ^a	11,6 ^a	95,29 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	5,7 ^a	11,1 ^a	90,34 ^b
Sig.	**	**	**
Sx	0,89	0,91	0,79

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

Los valores alcanzados en el número de racimos por planta y número de frutos por planta presentan diferencia significativa entre el tratamiento no fertilizado y los fertilizados con fórmula completa estos a su vez no difieren entre sí.

El peso de los frutos muestra diferencia altamente significativas entre los tratamientos, donde la fórmula 6-7-10 difirió de las restantes por su mayor valor (95,29 g), no existiendo diferencias entre las fórmula 8-9-14 y 4-4,5-7, los menores valores del peso de los frutos se presenta en el tratamiento sin fertilizar con 65,42 g.

Los valores obtenidos para este cultivar, están en correspondencia con los reportados por Martínez *et al.* (2004); Meléndez (2013) y Herrera (2014) quienes investigando diferentes temáticas del cultivo caracterizaron aspectos del rendimiento de este cultivar. Resultados similares son reportados por Díaz (2016) al estudiar estos mismos fertilizantes granulados mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa, donde obtuvo que de los parámetros que determinan el rendimiento en este cultivo, solo el peso de los tubérculos mostró diferencias estadísticas altamente significativas a favor de la fórmula con el 25% de este mineral.

4.2.4 Análisis de los rendimientos agrícolas.

Los resultados obtenidos en los rendimientos agrícolas se exponen en la tabla 7, donde la fórmula 6-7-10 con el 25% de zeolita natural manifestó los valores más altos de rendimiento con 33,73 t.ha⁻¹, la cual difiere de manera significativa del resto de los tratamientos, a su vez la fórmula 8-9-14 y la fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural, no difieren entre sí. El tratamiento sin fertilizar muestra los valores más bajos de rendimiento (14,62 t.ha⁻¹) y difiere del resto de los tratamientos.

Tabla 7. Comportamiento de los rendimientos agrícolas (t.ha⁻¹).

Tratamientos	Rendimiento agrícola (t.ha ⁻¹)
Control (sin fertilización)	14,62 ^c
Fórmula 8-9-14	29,81 ^b
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	33,73 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	28,23 ^b
Sig.	**
Sx	0,924

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

Estos niveles de rendimientos en los tratamientos fertilizados son similares a los reportados por Martínez *et al.* (2004) al evaluar nuevas variedades de tomate en diferentes períodos de siembra.

Resultados similares son reportados por varios autores; Díaz (1999) en los cultivos de frijol negro, tomate, frijol carita, pepino y boniato lograron incrementos en el orden de 17%, 38%, 16%, 35% y 23% respectivamente al comparar fertilizantes con el 25% de zeolita natural con fórmulas completas que no contenían zeolita. Díaz *et al.* (2019) reportan incremento del rendimiento en el cultivo de la papa al utilizar fórmula de fertilizantes granulados con el 25% de zeolita natural.

Las zeolitas naturales han mostrado su eficiencia tanto en la producción agrícola como en los nutrientes aplicados al suelo, en tal sentido, Garza *et al.* (2006) estudiando el comportamiento de los cultivos tomate, pepino y melón bajo tecnologías de cultivo protegido sin suelo utilizando zeolita cubana (sin cargar) obtuvieron incrementos de los rendimientos del orden del 15% al 20%. Bajaña *et al.* (2007) y Ficha técnica de la zeolita en Cuba citada por Soca (2012), resaltan al analizar el intercambio catiónico de las zeolitas, que esta propiedad posee una gran gama de usos agrícolas, permitiendo la inclusión entre el 15% al 25% de zeolitas en los fertilizantes minerales NPK, provocando la disminución de los nutrientes que portan las diferentes fórmulas, sin que se produzca detrimento en los rendimientos agrícolas, por el contrario, en la mayoría de

los casos se obtienen incrementos significativos de los mismos. Méndez y Soca (2012) al evaluar agroindustrialmente el impacto de la zeolita en el cultivo de la caña de azúcar y en la cepa de caña planta con incorporaciones del 25% de zeolita natural para dar inicio a la campaña de fertilización en las nuevas áreas de siembra en las instalaciones de la fábrica de fertilizantes de Veracruz, aplicaron 240 t de la fórmula 24-5-22 la que incluía un 25% de zeolitas sustituyendo en igual proporción todas las materias primas de la fórmula, concluyeron que la reducción de NPK provocada por la dilución de la inclusión de la zeolita no afectó el rendimiento de campo y en los contenidos del Pol en caña.

Casals (2014) refiere que la inclusión del 25% de zeolitas natural al fertilizante químico arrojó un incremento del 16% en los rendimientos de varios cultivos.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2014) informa que resultados experimentales obtenidos en diversos países de Europa, Estados Unidos, Cuba, América Central, Sudamérica y México, confirman que la mezcla del 25% de zeolita de tres milímetros de granulometría, con urea o con los fertilizantes químicos aplicados, es la más efectiva para optimizar su eficiencia y el rendimiento de los cultivos.

Soca y Villareal (2015) destacan que la zeolita en la agricultura es utilizada en la preparación de fertilizantes químicos que tras su aplicación en los suelos reserva importantes nutrientes para el crecimiento de las plantas cuando se aplica en cultivos como arroz, sorgo, maíz, palma, banano, hortalizas, pastos, café, cacao, sábila y flores, con excelentes resultados comprobándose que a través de la sustitución del 20% de los fertilizantes tradicionales se han obtenido reducciones en los costos de fertilización hasta en un 11% y mejoras en la productividad y calidad del producto final.

4.2.5 Contenido de materia seca en los frutos pintones de la primera cosecha (%).

La determinación de la materia seca a los frutos pintones se realizó en la primera cosecha, la que se correspondió con los 65 días posteriores al trasplante. Los resultados se ilustran en la tabla 8.

Tabla 8. Comportamiento de la materia seca en los frutos pintones de la primera cosecha (%).

Tratamientos.	Materia Seca en frutos (%)
Control (sin fertilización)	12,5 ^c
Fórmula 8-9-14	17,8 ^b
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	19,9 ^a
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	17,4 ^b
Sig.	--
Sx	0,745

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

Los resultados de la materia seca en los frutos pintones de tomate muestran un mayor contenido cuando se utilizó la fórmula 6-7-10 con el 25% de zeolita natural, la cual difiere del resto de los tratamientos. Las fórmula 8-9-14 y 4-4,5-7+ 50% de zeolita natural no difieren entre sí. El menor valor del contenido de materia seca en los frutos se presenta en el tratamiento sin fertilizar (12,5%), el cual difiere del resto de los tratamientos, lo que indica que el contenido de materia seca en los frutos fue el factor determinante en los rendimientos agrícolas.

Los valores obtenidos indican que para este periodo de fructificación las demandas nutricionales son las de mayores contenidos y exigencia (Molina, 2016), donde la con el fórmula 25% de zeolita natural manifiesta su potencial de fertilizante de liberación lenta respecto a los elementos nitrógeno y potasio y solubilizarían del fósforo (Soca, 2012).

4.3 Análisis de la Eficiencia Agronómica Relativa (E.A.R.) y kg de frutos por kg de nutriente aplicado según la fórmula de fertilizante granulado aplicado.

La respuesta al incremento de los rendimientos con la incorporación de zeolita natural a los fertilizantes granulados mezclados con la consiguiente disminución de las dosis de $N-P_2O_5-K_2O$ en $kg.ha^{-1}$ solo es posible explicarlo por el incremento de los coeficientes

de aprovechamiento de los nutrientes aplicados a los cultivos y una menor pérdida que pueda coadyuvar a la no contaminación del medio ambiente.

Cantera *et al.* (1991) y Díaz (1999) corroboran lo expuesto anteriormente ya que desarrollando trabajos encaminados a evaluar la incorporación de las zeolitas naturales en la calidad de los fertilizantes granulados y con el objetivo de determinar sí en el proceso industrial, dada la existencia de materias primas líquidas la zeolita natural captaba iones de interés nutricional para las plantas mediante el intercambio iónico (proceso de carga) obtuvieron una tendencia manifiesta a disminuir el pH en todos los tipos de fertilizantes que contenían zeolita natural, siendo mayor en la medida que se incrementó el contenido de ésta, destacando que este comportamiento es avalado por los trabajos de Allen (1991) y Mumpton (1999) quienes demostraron tal efecto en las zeolitas naturales ya que mediante el proceso de intercambio liberaban hidrógeno y absorbían elementos de interés nutricional, los cuales los cedían posteriormente en forma lenta, convirtiendo a estos fertilizantes de liberación lenta.

La tabla 9 ilustra los valores obtenidos de kg de frutos por kg de nutrientes aplicados donde se obtuvieron valores respectivos de 109, 152 y 165 para las fórmulas 8-9-14; 6-7-10 + 25% de zeolita natural y 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural, es decir, el parámetro de eficiencia se incrementó en la misma medida que lo hizo el porcentaje de zeolita. Estos incrementos de los parámetros de eficiencia no solamente se deben a las dosis aplicadas, sino que también al nivel ascendente general de la tecnología del cultivo.

En cuanto a la Eficiencia Agronómica Relativa, el cultivo manifestó una mayor eficiencia en cuanto a la absorción de nutrientes con la fórmula que contenía el 25% de zeolita natural, siendo ésta muy superior a lo realizado por la fórmula tradicional.

Tabla 9. Comportamiento de la E.A.R. y kg de fruto por kg de nutriente aplicado.

Tratamiento.	kg de fruto/ kg nutriente aplicado	E.A.R. (%)
Control (sin fertilización)	-	-
Fórmula 8-9-14	109	-
Fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural.	152	126
Fórmula 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.	165	89
Sig.	-	-
Sx	-	-

Letras diferentes difieren para un nivel de $p \leq 0.05$.

John *et al.* (2001) informan la existencia de un efecto favorable de la aplicación de la urea cubierta (mezclada) con zeolita natural, posibilitando con ello disminuir la cantidad de nitrógeno a aplicar al cultivo, aumentando la calidad del tubérculo y disminuyendo los riesgos de contaminación ambiental.

Chica *et al.* (2006) señalan que en ensayos realizados adicionando zeolita a la urea, lograron disminuir las pérdidas de ésta en más de un 30%, sin afectar los rendimientos de los cultivos del tomate y papa al evaluar el efecto de la urea-zeolita al 15%, 20% y 30%.

Instituto de Suelos (2012) informa que el uso del nitrato de amonio con zeolita en los cultivos del frijol, tomate y malanga reporta un incremento de los rendimientos agrícolas entre un 15% y un 30%, aumentando la eficiencia en la utilización del nitrógeno.

Respecto al fósforo, elemento de alta complejidad debido a sus interacciones en los suelos, la zeolita ha mostrado su eficiencia al contribuir a su asimilación por las plantas. Batte y Soca (2010) y Soca (2012) informan sobre los resultados obtenidos en los cultivos de caña de azúcar, tomate y papa al evaluar el efecto de la mezcla de zeolita y roca fosfórica la que incrementó de manera significativa el rendimiento del tomate en el suelo sin fertilizar y fertilizado, lo que evidencia su efecto positivo como sustituto parcial del fertilizante en un cultivo de elevada demanda nutrimental como el tomate. También,

los índices foliares de nitrógeno, fósforo y potasio de la papa se incrementaron por efecto de la mezcla de zeolita más roca fosfórica.

Alarcón (2013) destaca que una nutrición vegetal adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo de la planta y consecuentemente sobre la calidad y cantidad de los frutos tanto el contenido de un nutriente, como por el equilibrio entre dos o más elementos químicos, explicando además que se ha estudiado la incidencia de numerosos macro y microelementos sobre los frutos y los que han despertado un mayor interés han sido nitrógeno, potasio y calcio, los cuales participan de forma activa en numerosos procesos metabólicos de las plantas, siendo sobre estos dos primeros donde interviene las zeolitas naturales dada su alta selectividad e intercambio.

4.4 Valoración económica.

La valoración económica de la inclusión de la zeolita natural en la producción de los fertilizantes granulados solamente responderá a la sustitución de las materias primas fertilizantes. En la tabla 10 se presentan los costos de producción donde las fórmulas con 25% y 50% posibilitan un ahorro en USD en el orden de 19,9% y 35,68% respectivamente, lo que implica tres aspectos importantes: ahorro de materias primas de importación las cuales han manifestado un incremento de los precios todos los años, disminución de los precios de ventas a los productores posibilitando ajustes en las fichas de costos e incrementos de los rendimientos de los cultivos sin deterioro de la capacidad agroproductiva de los suelos.

Tabla 10. Valoración económica para la producción de las diferentes fórmulas de fertilizantes granulados mezclados con y sin zeolita natural.

Materias Primas.	Costo (USD/t)	Fórmula 8-9-14	Fórmula 6-7-10+ 25% de zeolita natural.	Fórmula 4-4,5-7+ 50% de zeolita natural.
		Costo (USD/t)	Costo (USD/t)	Costo (USD/t)
Superfosfato Simple.	108,0	52,38	42,55	27,0
Amoniaco Anhidro.	167,0	10,69	6,18	5,51
Sulfato de Amonio.	70,15	12,28	12,35	6,17
Cloruro de Potasio.	145,0	36,54	23,34	18,27
Ácido Sulfurico	28,10	8,04	4,19	4,98
Zeolita Natural.	87,40	-	7,58	15,20
Total.	28,10	119,93	96,11	77,13
Ahorro (%).	-	-	19,9	35,68

Instituto de Suelos (2012) plantea que el uso del nitrato con 10% de zeolita, logra un beneficio de 35,84 USD por tonelada de nitrato de amonio producido y de 53,76 con el 15%. La producción de 31 200 t, con la decisión de aplicar el 10% de zeolita al nitrato puede ahorrar por sustitución del amoniaco 1 118 000 USD y si se mezcla al 15% se ahorra 1 658 592 USD, sin considerar el efecto agronómico antes expuesto.

CONCLUSIONES.

1. La aplicación de las diferentes fórmulas de fertilizantes granulados no mostraron diferencias estadísticas en las principales propiedades químicas del suelo, no obstante, se observan niveles superiores de fósforo y potasio asimilables cuando se utiliza la fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural respecto al control sin fertilizar.
2. El número de racimos por planta, frutos por planta y peso de los frutos muestran una tendencia al incremento con la fórmulas 6-7-10 + 25% de zeolita natural y 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural.
3. Los valores más altos de rendimiento se obtienen con la fórmula 6-7-10 + 25% de zeolita natural con 33,73 t.ha⁻¹.
4. Los valores de la eficiencia agronómica relativa y kg de frutos por kg de nutrientes aplicados ratifican a las fórmulas con zeolita natural como las de mejores parámetros de eficiencia destacando por sus valores la del 25% de zeolita natural.
5. La valoración económica de la sustitución del 25% y 50% de materias primas fertilizantes por zeolitas naturales demuestra ahorros en USD por tonelada en el orden del 19,9% y 35,68% respectivamente.

RECOMENDACIONES.

1. Continuar el estudio de las fórmulas 6-7-10 + 25% de zeolita natural y 4-4,5-7 + 50% de zeolita natural en otros cultivos y condiciones edafoclimáticas del país.

BIBLIOGRAFIA.

Alarcón, A. 2013. Calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización. Madrid. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Universidad Politécnica de Madrid.

Allen, E. P. 1991. Grow Nutrient uptake of wheat in a zeoponic system. En: Memorias Zeolitas'91. 3ra International Conference on the Occurrence, Properties and utilization of Natural Zeolite. Palacio de las Convenciones. La Habana. (CD).

Anjanappa, M.; Jayaramana, G. S. and Suresh, B. 2013. Shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by 1-methylcyclopropene (MCP) under cold storage conditions. Mysore Journal of Agricultural Sciences. 47(1): 58-65.

Bajaña, D.; Quilambaqui, A. y Ayala, C. 2007. Usos de las zeolitas naturales en bloques tecnológicos experimentales de las zeolitas (BTEZ) de la ESPOL del cultivo del maíz (*Zea Mays* L.) [en línea]. Disponible en:<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2492/1/4932.pdf> [Consulta: marzo, 11 2019]

Baldwin, E. A.; Goodner, K. y Plotto, A. 2008. Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. Journal of Food Science. 73: 294–307.

Batte, M. y Soca, M. 2010. Efecto de la zeolita sobre la caña-planta. En VII Congreso de Suelo de la Sociedad de la Ciencia del Suelo. La Habana. (CD).

Brito, A.; Coutín, P. y Batista, R. 2013. Papel actual de las zeolitas para el desarrollo local en la rama Agropecuaria. En: V Congreso Cubano de Minería y VI Taller de zeolitas naturales, usos y aplicaciones. La Habana. (CD).

Cagas, C. C.; Nakata, M.; Sumugat, M. R. and Sugiyama, N. 2008. Effect of cultivar, root container size and temperatura on days to flower and number of leaves before flowering in tomato. *Journal of Applied Horticulture*. 10(2): 100-105.

Calleja, R. P. 2009. El tomate terapéutico [en línea]. Disponible en: www.infoagro.com [Consulta: abril, 15 2019].

Cámara de Comercio de Bogotá. 2015. Manual del Tomate. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial. p. 32-36.

Cantera, V.; Suárez, M. S.; Suárez, N. S.; Díaz, H. y Montalvo, H. 1991. Fertilizantes granulados con zeolita natural. En: *Memorias Zeolitas'91. 3rd Internacional Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites*. La Habana. (CD).

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: abril, 15 2019].

Casanova, A. S.; Gómez, O.; Pupo, F.; Hernández, M.; Chailloux, M.; Depestre, T.; Hernández, J. C.; Moreno, V.; León, M.; Igarza, A.; Duarte, C.; Jiménez, I.; Santos, R.; Navarro, A.; Marrero, A.; Cardoza, O.; Piñeiro, F.; Arozarena, N.; Villarino, L.; Hernández, M. T.; Salgado, J. M.; Socorro, A.; Cañet, F.; Rodríguez, A. y Osuna, A. 2007. Producción protegida de plántulas de tomate. Manual para la producción protegida de hortalizas. Ministerio de la Agricultura. IIH "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba. 138 p.

Castro, M., Martínez, M. y Ayala, L. 2009. Zeolitas naturales, su uso impostergable en el sector agropecuario. *ACPA 3*: 49-52.

Causse, M.; Friguet, C.; Coiret, C.; Lépiciér, M.; Navez, B.; Lee, M.; Holthuysen, N.; Sinesio, F.; Moneta, E. y Grandillo, S. 2010. Consumer preferences for fresh tomato at

the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *J. Food Sci.* 75(9): 531– 541.

Chica, F.; Londoño, L. y Álvarez, M. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. *La Sallista de investigación.* 3(001): 30-34.

Colombo, M. H. y Obregón, R. 2008. Horticultura General. Consideraciones del cultivo del tomate y manejo. INTA–Estación Experimental Agropecuaria "Bella Vista". Centro Regional Corrientes. Publicación Técnica N° 24. p. 4 -14.

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: febrero, 22 2019]

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.

Davidson, P. G. y Touger, R. 2009. Chemo preventive role of fruits and vegetables in oropharyngeal cancer. *Nutr. Clin. Pract.* 24: 250-260.

Díaz. H. 1999. Nuevo fertilizante granulado con zeolita natural para el cultivo de la papa. En VII Fórum Nacional de Piezas de Repuesto y Tecnologías de Avanzada. La Habana.

Díaz, H. J. 2016. Evaluación agronómica de fertilizantes granulados mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Matanzas. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas. Universidad de Matanzas.

Díaz, H. J.; Liriano, R. y Abreu, E. 2019. Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro Agrícola. 46(1): 24-30.

El-Mergawi, R. A. y Al-Redhaiman, K. 2010. Effect of organic and conventional production practices on antioxidant activity, antioxidant constituents and nutritional value of tomatoes and carrots in Saudi Arabia markets. J. Food Agric. Environ. 8: 253-258.

Engormix®. 2010. Las zeolitas naturales en el mejoramiento de suelos y optimización de fertilizantes [en línea]. Disponible en: <http://www.engormix.com> [Consulta: abril, 22 2019].

Escobar, H. y Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. 2^{da} Edición. Bogotá, Colombia. 180 p.

Espinosa, W.; Fernández, J. M. y Curbelo, N. 2009. ZEOFERT. Abono Orgánico y Mineral. ACPA 4: 38- 39.

FAO. 2012. Food and Agricultural Organization. Estadísticas del cultivo del tomate [en línea]. Disponible en: http://www.faostat.fao.org./home/index_es.html/. [Consulta: marzo, 25 2019].

Florido, M.; Álvarez, M.; Plana, D.; Lara, R. M.; Moya, C y Dueñas, F. 2010. Acción genética y heredabilidad del porcentaje de fructificación en tomate, cultivar “Nagcarlang”. En: V Simposio Internacional de Mejoramiento y Conservación de Recursos Filogenéticos. La Habana. (CD).

Garza, A.; Rosales, O.; Báez, C.; Arozarena, N.; Hernández, M.; Casanova, A. y Villafranca, Y. 2006. Comportamiento del tomate, pepino, melón, bajo tecnologías de cultivo protegido sin suelo utilizando zeolita cubana (sin cargar) Temas de Ciencia y Tecnología. 10(29): 21-26

Gerszberg, A.; Hnatuszko, K.; Kowalczyk, T. y Kononowicz, A. K. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 120(3): 881-902.

Gómez, O.; Casanova, A. S.; Cardoza, H.; Piñeiro, F.; Hernández, J. C.; Murguido, C. A.; León, María y Hernández, A. 2010. Guía técnica para la producción del cultivo del tomate. Editora Agroecológica. Biblioteca ACTAF. IIH "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba. 57 p.

Gongolee, G.; Osei, M. K.; Akromah, R.; Nyadanu, D. y Aboagye, L. M. 2015. Evaluation of Some Introduced Tomato Cultivars. Horizon Journal of Agriculture and Food Science. 1(1): 1-4.

Hemaprabha, E. and Balasaraswathi, R. 2008. Internal quality characterization and isolation of lycopene specific genes from tomato. Journal of Applied Horticulture. 10(1): 21-24.

Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA. La Habana, Cuba. 91 p.

Herrera, A. 2014. Caracterización morfofisiológica y evaluación de *Alternaria solani* en cultivares de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) para el consumo fresco. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Huerres, Consuelo y Caraballo, Nelia. 1996. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. p. 1-34

Infoagro. 2015. El cultivo del tomate [en línea]. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm> [Consulta: abril, 18 2019].

Instituto de Suelo. 2012. Resultados de las pruebas de validación del uso del nitrato de amonio con zeolita en los cultivos del frijol, tomate y malanga. Material mimeografiado. 30 p.

INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2014. Manejo integrado de plagas. Cultivo de tomate: Guía MIP. Managua, Nicaragua. 66 p.

Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Guzmán, M.; Zapata, M. y Rengifo, T. 2007. Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico. Tampillo, México. 122 p.

John, C.; del Vallín, G.; Arias, E.; Dueñas, G. 2001. La producción integrada de la papa a partir de la zeolita como aditivo de los fertilizantes minerales y orgánicos. En: XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero. (CD).

Jordán, R.; Betancourt, R.; Cabrera, E. y Cabrera, D. 2013. Mejorador del suelo a partir de una zeolita natural. Una propuesta sustentable para la agricultura. Nova Scientia. 6(11): 1-1

Leiva, E. 2013. Caracterización Geotécnica de la zeolita proveniente de las tobas de Quinámavida, Colbún, región de Maule, Chile. Memoria en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción.

López, L. 2017. *Solanum lycopersicum* 2. Cultivo. INTA. 126 p.

Maroto, J. V. 2008. Consumo de hortalizas y salud. *Agrícola Vergel*. 315: 138-143.

Martínez, R.; Solís, A. y López, V. 2004. Resultados de ensayos con nuevas variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) realizados en diferentes períodos de siembra. *Ciencias Holguín*. X(1): 1-7.

Meléndrez, J. F. 2013. Utilización de tres dosis de VIUSID AGRO en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L) en la provincia Sancti Spíritus. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spíritus. Cuba.

Méndez, N. y Soca, M. 2012. Evaluación agroindustrial del impacto de la zeolita en el cultivo de la caña de azúcar. Material mimeografiado. 15 p.

Metodología del Servicio Agroquímico Nacional .1975. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes .Mimeografiado. 80 p.

Molina, E. 2016. Fertilización de tomate [en línea]. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20TOMATE%202016.pdf>. [Consulta: abril, 18 2019].

Monardes, H. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Características botánicas. Origen. Universidad de Chile, Chile. 13 p.

Monzón, C. A. 2016. Evaluación del rendimiento de tomate de crecimiento indeterminado (*Lycopersicon esculentum* Mill) de variedades híbridos utilizando abonos fermentados de gallinaza y cuyaza – abancay. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Tecnológica de los Andes.

Morales, F. J. 2010. Distribution and Dissemination of Begomoviruses in Latin America and the Caribbean [en línea]. Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-2460-2_9. [Consulta: marzo, 5 2019].

Moya, C.; Domini, M. E.; Gómez, O.; Terry, E. y Plana, R. 2007. El Tomate. (Solanum Li.....) Tecnología para la producción de tomate [en línea]. Disponible en: http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/produccion_tomate_moya.pdf. [Consulta: marzo, 5 2019].

Mumpton, F. A. 1999. La Roca mágica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. 96: 3463-3470.

Navarro, I.; García, V.; García, J. and Periago, J. M. 2011. Chemical profite, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. Food Res. Int. 44(5): 1528-1535.

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): 80-88.

Osuna, E.; Ramírez, A.; Paredes, R.; Padilla J. y Báez, A. D. 2012. Eficiencia de la zeolita como auditivo de la urea e inoculación micorrizicos en el cultivo del trigo. Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(6): 1101-1113.

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

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

Poiroux, F.; Bidel, P. R.; Fanciullino, A. L.; Gautier, H. y Lauri, F. 2010. Health benefits of vitamins and secondary metabolites of fruits and vegetables and prospects to increase their concentrations by agronomic approaches. *J. Agric. Food Chem.* 58: 12065-12082.

Raiola, A.; Rigano, M. M.; Calafiore, R.; Frusciante, L. y Barone, A. 2014. Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food. *Mediators of Inflammation.* 2014(139873): 1-16.

Rodríguez, A.; Florido, M.; Dueñas, F.; Muñoz, L. J.; Hanson, P. y Álvarez, M. 2017. Caracterización morfoagronómica en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con resistencia a begomovirus. *Cultivos Tropicales.* 38(2): 70-79.

Rodríguez, G. y Estévez, E. 2012. Ingeniería de Zeolitas naturales: una opción para la Industria. *Cubana de Gestión Empresarial.* 8(1): 27-32

Ruiz, J. A.; Medina, G.; González, I. J.; Flores, H. E.; Ramírez, G.; Ortiz, C.; Byerly, K. F. y Martínez, R. A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. p. 453.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2014. Uso de la zeolita para reducir costos de fertilización química en la agricultura. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Grupo Experimental Cotaxtla, México.

Soca, M. 2000. Uso en la agricultura de las zeolitas naturales y modificadas. En Taller Nacional de zeolitas Naturales. Villa Clara, Cuba. (CD).

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

Soca, M. y Villareal, J. E. 2015. Influencia de Zeolita y roca fosfórica sobre el desarrollo de los cultivos sorgo y papa. Científica Agropecuaria. (23): 60-74

Sortino, O.; Dipasquale, M.; Montoreni, E.; Tomasso, L.; Perrone, D. G.; Vindrona, D.; Negre, M. and Piccone, G. 2013. Refuse derived soluble bio-organics enhancing tomato growth and productivity. Waste Management. 32: 1792-1801.

Spooner, D. M.; Peralta, I. E. y Knapp, S. 2005. Phylogeny of wild tomatoes. [*Solanum*, l. section *Lycopersicon* (Mill). Wettst. Subsection. *lycopersicon*]. Taxon.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. 5th Edition. Sinauer, Sunderland, MA, USA. 782 p.

Tazuke, A.; Boonkorkaew, P.; Hikosaka, S. and Sujiyama, N. 2008. Factors affecting fruit abortion in a gynococious cucumber cultivar. Journal of Applied Horticulture. 10(1): 8-14.

Wu, Z.; Sun, S.; Wang, F. and Guo, D. 2011. Establishment of Regeneration and Transformation System of *Lycopersicon esculentum* MicroTom. British Biotechnology Journal. 1(3): 53-60.