

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA AGRICOLA

Instituto de Suelos MINAGRI

Dirección Provincial de Suelos La Reneé – Habana

GEOCUBA Investigación y Consultoría



LA ZEOLITA NATURAL Y SU PAPEL EN EL MANEJO DEL NITROGENO PARA EL CULTIVO DEL TOMATE.

*Tesis presentada en opción al título académico de Maestro en Ciencias en Nutrición de las
plantas y Biofertilizantes*

Autora: Ing. Clara Maria John Louis

Tutor: Dr. Claro Alberto Alfonso Linares

Cotutor: Dr. Teodoro López Betancourt

Ciudad de la Habana, Mayo 2002

A mi madre

**Por haber sido luz y guía, consagrándose
a mi causa, que me permitió alcanzar un
desarrollo científico y profesional.**

A mi padre

A mi esposo

A mi hijo

AGRADECIMIENTOS

A la Revolución Cubana por haberme brindado la posibilidad de estudiar y superarme en la vida.

A mis padres por el amor y educación que me brindaron

A mi esposo por su paciencia, comprensión y por su ayuda incondicional.

A mi hijo por el tiempo que no le pude dedicar.

A mis tutores Drs: Claro Alberto Alfonso Linares y Teodoro López Betancourt por la conducción exitosa de este trabajo.

Al Ing. Antonio Vantour Causse por su ayuda, consejos y amistad .A mis compañeros de La Estación Experimental “La Reneé” por la confianza depositada y ayuda prestada, especialmente a la MSc. Milagros Monedero y las Técnicas , Ania Matos, Cira Elena Martel y Esther Manfarrol.

A mis compañeros de GEOCUBA Investigación y Consultoría, especialmente al Licenciado José Maria Camero, MSc Sigilfredo Jimenez, al MSc. José Carlos Núñez, al Dr. Francisco Rivero, a la Ing. Alicia Alfonso y los técnicos Sonia Travieso, Alexis Almogueva, Maribel Fuentes y Niurmis Pino por su dedicación y ayuda en la confección de esta tesis.

A los compañeros del Departamento de Ingeniería de la zeolita, de la Facultad de Física de La Universidad de la Habana, especialmente a Gerardo, Rabdel, Inocente, y Tania, por su colaboración y ayuda en el suministro de literatura actualizada para la confección de la tesis.

A los profesores del claustro de la Maestría de Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes por los conocimientos aportados.

A las compañeras del departamento de ICT, especialmente a Sixta Wong y Flora Cardo .

A aquellos que de una forma u otra, me estimulan a superarme para ser cada día más útil.

A todos muchas gracias.

RESUMEN.

En Cuba existen reservas de zeolita o roca zeolítica calculados en más de 44 millones de toneladas industriales y más de 100 millones en perspectivas de explotación en 24 yacimientos a lo largo del país, la misma se conceptuó hace algún tiempo como “El mineral del Siglo XX”, es un mineral que posee una alta capacidad de intercambio, su gran afinidad por el ion amonio puede contribuir al incremento de la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, disminuyendo sus pérdidas y su impacto negativo en el medio ambiente; las prácticas más comunes para disminuir estas pérdidas, contemplan el uso de la zeolita que, por sus características físicas y químicas, constituye un recurso importante de gran aplicación en la agricultura entre las que se encuentra su empleo para recubrir o mezclar los fertilizantes minerales nitrogenados (urea, nitrato de amonio y fertilizantes NPK). Con el objetivo general de: “Reducir las pérdidas de nitrógeno, mejorar su eficiencia y contribuir a la protección del medio ambiente mediante el uso de la zeolita natural mezclada con la urea para el manejo del nitrógeno en la producción de tomate” se llevó a cabo una investigación en condiciones controladas y de campo en La Estación Experimental de Suelos La Renee y su validación en La Empresa de Cultivos Varios 19 de Abril, del municipio de Quivicán provincia La Habana, el suelo utilizado fue el Ferralítico Rojo Compactado. En los dos primeros ensayos se estudiaron tres tratamientos de urea mezclada con 15, 20 y 30 % de zeolita, comparadas con un testigo de referencia de 100 kg/ha de N en forma de Urea comercial y un testigo sin Nitrógeno, añadiéndose P_2O_5 y KCl en forma de Superfosfato Simple y Cloruro de Potasio de fondo a razón de 1,50 y 1,25 gr./macetas respectivamente, por lo que se estableció un diseño de bloques completamente aleatorizados, que constó de 5 tratamientos y 4 réplicas, para las condiciones controladas y de Bloques al Azar, con 5 tratamientos y 4 réplicas, para las condiciones de campo, estos ensayos se ejecutaron desde 1995 hasta 1997. Por su parte en el ensayo de validación en condiciones de producción se compararon dos variantes: la de producción que contempló el aporte de 7 t/cab de Formula Completa 8 -7.5 -12 + 2.5 t/cab de Urea comercial equivalentes a 559 kg/ha de Formula Completa y un aporte de nutrientes de 42 - 39 – 63 kg/ha de N – P_2O_5 – K_2O y 86 kg/ha de N respectivamente. La variante propuesta o nueva contempló igualmente el aporte de 7 t/cab de FC 8 -7.5 -12 + 2 t/cab de la mezcla de Urea comercial + 15 % de Zeolita, equivalentes a 559 kg/ha de FC y un aporte de 42 - 39 – 63 kg/ha de N – P_2O_5 – K_2O y 69 kg/ha de N respectivamente. El cultivo utilizado como indicador fue el tomate de la variedad Campbell 28. Este ensayo se ejecutó en las campañas 1996-1997 y 1997-1998 . Se estudiaron las formas de Nitrógeno del suelo y su contenido así como la volatilización del mismo, se evaluaron los parámetros de calidad del fruto, se efectuaron determinaciones foliares, se determinó el coeficiente de aprovechamiento de la mezcla y su eficiencia agronómica, se determinaron los rendimientos y finalmente se calculó su efecto económico. Los resultados arrojaron que con la utilización de la zeolita mezclada con la urea en diferentes proporciones, las pérdidas de las diferentes formas de Nitrógeno fueron menores disminuyendo en la medida que aumentó el % de zeolita en la mezcla, de forma similar se comportaron las pérdidas de N del fertilizante, por lo que el menor valor de N volatilizado acumulado en 35 días, correspondió al tratamiento de urea mezclada con zeolita al 30%. El uso de las mezclas de zeolita permitió, con su fijación selectiva, entre otros beneficios, evitar la contaminación de las aguas del manto freático con los nitratos que se lavan o de las formas del N que se volatilizan, etc. contribuyendo a mantener el entorno menos

contaminado. El impacto mayor sobre la materia seca y su extracción de N, P y K en el ensayo en condiciones controladas y sobre el rendimiento y sus componentes durante los 3 años que duró el ensayo de campo, lo tuvo la variante con la aplicación de la mezcla de urea con el 15% de zeolita equivalente a la sustitución del 15% del nitrógeno del fertilizante. La peor variante desde el punto de vista agronómico fue la mezcla de urea con zeolita al 30%, reflejadas en los rendimientos y sus componentes, reportando similares valores a los del testigo con Urea comercial, ocurriendo lo mismo con sus parámetros de calidad (% de MS, N, P, K y Brix así como el contenido de vitamina C (mg A. A.) para el fruto, siendo los más bajos encontrados, excepto el contenido de nitrato que es significativamente inferior al del testigo. El mayor aprovechamiento del fertilizante y su eficiencia agronómica igualmente lo fue para la variante del 15% de zeolita mezclada a la urea, siendo sus valores de 45.92 % y 85,06 Kg. de frutos/kg de fertilizantes respectivamente, superando a los obtenidos para la variante de la mezcla de urea + 20% zeolita que reportó 33.09 % y 39.58 Kg. de frutos/kg de fertilizantes respectivamente; presentándose deprimidos ambos índices para la variante de la mezcla de urea + 30 % de zeolita. La validación en condiciones de producción, ejecutada en La Empresa de Cultivos varios 19 de Abril, demostró que la variante propuesta (mezcla de urea con el 15% de zeolita), sobrepasó a la variante de producción en 7,81t/ha de rendimiento, valor que arrojó un beneficio económico equivalente a 2661 pesos por hectárea, para un valor de la relación Valor/Costo de 12,61. Recomendar el uso generalizado de la mezcla de urea con zeolita al 15% por ser la más eficiente desde el punto de vista económico y ecológico.

I. INTRODUCCION

En Cuba existen reservas de minerales zeolíticos calculados en más de 44 millones de toneladas industriales y más de 100 millones en perspectivas de explotación en 24 yacimientos a lo largo del país, siendo la clinoptilolita y la mordenita las de mayor presencia y uso en la industria y la agricultura.

La zeolita o roca zeolítica se conceptuó hace algún tiempo como “El mineral del Siglo XX”, es un mineral cuya composición de aluminosilicato le proporciona una alta capacidad de intercambio (Alberti *et al.* 1996), su gran afinidad por el ión amonio puede contribuir al incremento de la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, disminuyendo sus pérdidas y su impacto negativo en el medio ambiente; lo más común para disminuir estas pérdidas, según Chailloux *et al.* (1997), Moreno *et al.* (1997) y John *et al.* (1998, 2001), es la práctica de la utilización de la zeolita, que por sus características físicas y químicas, constituye un recurso importante de gran aplicación en la agricultura entre las que se encuentran su empleo para el recubrimiento o mezcla de fertilizantes minerales nitrogenados (urea, nitrato de amonio y fertilizantes NPK).

La importancia de probar la zeolita como un descontaminador del medio, surgió debido a las rápidas transformaciones químicas y bioquímicas que sufre el Nitrógeno en el suelo, afectando su disponibilidad para las plantas (Yágodin, 1986; Martínez Viera, 1986 y Dueñas, 1997), las diversas pérdidas de nitrógeno, principalmente en forma de NO_3^- y NH_4^+ por lixiviación y volatilización respectivamente, también pueden producirse por desnitrificación en forma de óxidos gaseosos (N_2O , NO), fuera del sistema suelo- planta, pudiendo causar daños al hombre, los peces, los animales domésticos y en general al medio ambiente (Urquiaga y Zapata, 2000).

Dentro de la producción mundial de alimentos, las hortalizas ocupan un lugar destacado; su consumo a escala mundial cobra cada día mayor importancia derivado del papel que desempeña en la dieta familiar. Se calcula que una dieta balanceada debe incluir no menos de 300 gramos de hortalizas diarias (Casanova y Savón; 1995).

El tomate constituye una de las hortalizas más importantes, se cultiva en latitudes que van desde el Ecuador a cerca de los círculos polares, aunque prefiere los climas de las áreas tropicales, subtropicales y templadas. Su aceptación y preferencia por los consumidores se debe a sus cualidades gustativas, a las amplias posibilidades de su uso en su estado fresco o elaborado y a su relativo aporte en vitaminas y minerales, (Santiago *et al.* 1998).

La producción en Cuba de tomate se sitúa en algo más de 371 miles de toneladas, según Minagri (1998) citado por Hernández (2000). Este cultivo tiene un rendimiento nacional promedio de 10,2 t.ha⁻¹, siendo la fertilización nitrogenada una de las principales causas que definen el crecimiento, desarrollo y producción del mismo.

Siendo la provincia La Habana, una de las principales regiones donde se cultiva esta hortaliza, fundamentalmente en los suelos Ferralíticos Rojos, los cuales por lo general tienen un elevado abastecimiento de fósforo y potasio. De ahí que sea posible aplicar sólo nitrógeno en estos suelos. Sin embargo el empleo de elevadas dosis de este elemento, constituye actualmente un grave problema debido a la contaminación de las aguas del manto freático que puede producir su aplicación excesiva, observándose también altos tenores de nitratos en los frutos (Molina *et al.* 1998).

Por lo antes expuesto se desarrolló la presente investigación teniendo como base la siguiente **hipótesis: “La eficiencia del fertilizante nitrogenado urea, puede lograrse mediante la mezcla con zeolita, lo cual permite un incremento del rendimiento y calidad del tomate en suelos Ferralíticos Rojos, así como disminuir la contaminación ambiental producida por las transformaciones y pérdidas de las formas de Nitrógeno al entorno”.**

Con el fin de dar respuesta a la hipótesis planteada se llevo a cabo el presente ensayo que tuvo como **objetivo general: “Reducir las pérdidas de nitrógeno, mejorar su eficiencia y contribuir a la protección del medio ambiente mediante el uso de la**

zeolita natural mezclada con la urea para el manejo del nitrógeno en la producción de tomate”.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del empleo de la urea mezclada con zeolita y su impacto sobre las formas, contenido y la reducción de las pérdidas por volatilización del nitrógeno en el suelo Ferralítico Rojo Compactado.
- Determinar la combinación urea-zeolita más adecuada para incrementar los rendimientos y la calidad del tomate.
- Definir la influencia de la urea modificada con zeolita en la extracción de NPK por el fruto y determinar su aprovechamiento y eficiencia agronómica.
- Evaluar la factibilidad económico del uso de esta mezcla en la producción de tomate en un suelo Ferralítico Rojo Compactado.

II. REVISION DE LA LITERATURA

2.1. Importancia de la zeolita en la agricultura.

Los cristales de la zeolita fueron descubiertos por primera vez por Cronsteden 1756 y acogido como una rareza geológica (Malherbe, 1988). La zeolita o roca zeolítica se conceptuó hace algún tiempo como “El mineral del Siglo XX” porque como ningún otro, se puede utilizar con mayor provecho en las más diversas ramas (Rodríguez, 1987).

Para poder comprender las propiedades de la zeolita, arcillas y cristales porosos en general como adsorbentes, intercambiadores iónicos, tamices moleculares, catalizadores, etc., es necesario conocer la estructura cristalina de estos materiales pues todos ellos están íntimamente relacionados con la estructura cristalina y la morfología de las partículas que comprenden estos minerales.

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos cuyas redes están formadas por tetraedros de AlO_4^- y SiO_4^- conectados de forma tal que cada átomo de oxígeno pertenezca a dos tetraedros y cumpliendo con la Regla de Lowestein (Malherbe, 1988) que asegura que los tetraedros de AlO_4^- no pueden ser vecinos cercanos, y por tanto, en una zeolita: la relación Si/Al no puede ser menor que la unidad. La carga negativa del enrejado aniónico de Al-O-Si, se compensa con cationes intercambiables, que ocupan sitios específicos en las cavidades y canales de la zeolita (Lee et al. 1977; Malherbe, 1988).

Los cationes que ocupan los sitios específicos pueden ser: Na, K, Ca, Mg, Ba, etc., sin embargo, casi todas estas sustancias después de ser desgaseadas adsorben selectivamente comportándose como cribas moleculares de acuerdo al tamaño de sus canales y cavidades (Malherbe, 1988; Milán, 2000).

El bajo costo de la obtención de zeolita natural y el hecho de que sus iones más intercambiables son relativamente inocuos (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ ,) lo hacen especialmente atractivos para dar soluciones alternativas a la remoción de metales pesados y elementos

indeseables en las aguas residuales industriales y la conformación de compost con residuales orgánicos (Milán, 2000).

En Cuba existen reservas de minerales zeolíticas calculadas en más de 44 millones de toneladas industriales y más de 100 millones en perspectivas de explotación en 24 yacimientos a lo largo del país (figura 1), siendo la clinoptilolita y la mordenita la de mayor presencia y uso en la industria y la agricultura, es de coincidencia mundial que la zeolita con mayores porcentajes de clinoptilolita es la que reúne las características esenciales para ser utilizada en la agricultura y fundamentalmente en horticultura (Mumpton, 1999)

Quedando entonces por investigar las aplicaciones que den solución a los problemas de la fabricación de los fertilizantes dentro de la economía cubana, así como el desarrollo de nuevos materiales (Rodríguez, 1987).

Por sus características físicas y químicas, las zeolitas constituyen un recurso importante de gran aplicación en la agricultura dentro de las cuales se encuentran, su empleo para el recubrimiento o mezclado con los fertilizantes minerales nitrogenados - Urea y Nitrato de amonio (John *et al.*, 1998 y 2000). También en la mezcla con fertilizantes minerales NPK (Arias *et al.* 1991; Moreno *et al.* 1997).

2.1.1. La zeolita como mejorador de las propiedades de los suelos.

Debido a las singulares propiedades químicas y físicas de las zeolitas naturales, han sido investigada para una variedad de aplicaciones industriales y agrícolas, siendo de significación las reportadas por Allen y Ming (1995). Estas incluyen el uso de las zeolitas naturales como fertilizante de liberación lenta, como sustrato para el desarrollo de las plantas en Zeopónicos y como agente para la conservación y el mejoramiento de los suelos.

Figura 1. Yacimientos

Las propiedades enmendantes de las rocas zeolíticas dependen sustancialmente de su capacidad de absorción y de intercambio iónico, porosidad y su poder de retención de agua.

La capacidad de intercambio catiónico de las zeolita ha sido ampliamente reconocida como un supremo enmendante de las propiedades de los suelos. En efecto se ha podido comprobar por varios autores (Ming, 1995; Bedeleian *et al.* 1997 y Tsadilas *et al.* 1997) que la zeolita mejora la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos, poniendo a disposición de las plantas adecuadas reservas intercambiables de nutrientes asimilables tales como: NH_4 , K, Ca, Mg, etc.

Son importantes los beneficios que hace la zeolita en el poder buffer del pH del suelo, este beneficio se relaciona directamente con las características de intercambio y la naturaleza alcalina de las rocas zeolíticas para mejorar la acidez de los terrenos (Allen y Ming, 1995; Androsikashvili *et al.* 1995). Otras propiedades como la porosidad y retención de agua, la estructura y estabilidad de los agregados y la actividad biológica de los suelos son mejoradas por las rocas zeolíticas. Además el efecto de intercambio iónico y la selectividad iónica de las propiedades de la zeolita están siendo explotadas en el mejoramiento de los suelos salinos, erosionados o para eliminar metales tóxicos tales como Pb, Ba, Cd, As, Sr, Cs, e isótopos radioactivos de los agroecosistemas, (Chakalov *et al.* 1995; Gworek *et al.* 1997; Nikashina *et al.* 1997).

El intercambio iónico puede ser representado por una ecuación reversible envolviendo cantidades químicamente equivalentes, un ejemplo es la conocida ecuación de ablandamiento del agua: $\text{Ca}^{++}(\text{aq}) + 2\text{NaR} \rightarrow \text{CaR}_2 + 2\text{Na}^+(\text{aq})$ donde R representa un sitio estacionario, aniónico y univalente con estructura de fase de intercambiador polielectrolítico. Las propiedades de intercambiador de la zeolita se conocen desde hace más de 100 años cuando se utilizaban comercialmente para ablandar las aguas industriales y domésticas recibiendo el nombre de permutita (Sherman, 1984). Otro factor que impulso el desarrollo comercial de la zeolita fue la nueva política de control de la

contaminación ambiental que se adoptó por lo que las industrias reformaron sus procesos de tratamientos.

El intercambio iónico en las estructuras zeolíticas ocurren por la sustitución directa de cationes de compensación como el sodio que neutraliza la carga negativa que aparece asociada a los iones de aluminio tetracoordinados de la estructura zeolítica por cationes de la solución. El intercambio iónico de la zeolita depende de los siguientes factores:

- Naturaleza de las especies catiónicas, el tamaño , la carga y el grado de hidratación del catión.
- Temperatura.
- Concentración de las especies catiónicas en la solución.
- Especies aniónicas asociadas a los cationes en la solución.
- Tipo de solvente.

La selectividad de la zeolita por determinado catión es una medida de su capacidad de orientar su reacción en detrimento de otro catión de la solución. Esta selectividad por los cationes no sigue los patrones típicos que son evidenciados por otros intercambiadores orgánicos o inorgánicos (Sherman, 1978). Esta selectividad poco común de la zeolita es debida a las características únicas de la estructura de la zeolita; recientes análisis de estas estructuras forman una base para la interpretación del comportamiento variable de su intercambio iónico.

Usualmente las zeolitas exhiben alta selectividad para el intercambio entre cationes y que penetran fácilmente en sus cavidades , cada zeolita presenta diferentes mecanismos para dicho intercambio selectivo de iones.

En Cuba las zeolitas se han utilizado de manera directa en el mejoramiento de los suelos, lográndose importantes resultados en el incremento de la fertilidad de los suelos erosionados, salinizados y con problemás de degradación en general. (Soca *et al.* 1988, 1991; Febles *et al.* 1993 y Arias *et al.* 1991).

2.1.2. La zeolita como mejorador de las propiedades de los fertilizantes.

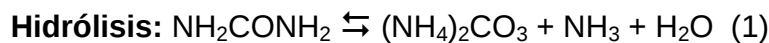
Uno de los problemas más graves que tiene la agricultura cubana es el déficit de los fertilizantes minerales, entre ellos los nitrogenados. Como ya se explicó las diversas fuentes de nitrógeno que se emplean en el país sufren pérdidas que disminuyen su efectividad agronómica y contaminan el medio ambiente.

Una forma de disminuir las pérdidas del nitrógeno es utilizando sustancias que modifiquen las propiedades químicas de la urea, con los cuales se controla la solubilidad, formándose productos que reduzcan la liberación del nitrógeno en un período largo de tiempo, a estos fertilizantes se les denomina de liberación lenta o retardada. Mineng et al. (1978), citaron algunos de estos portadores fabricados con materiales orgánicos, estos son: urea formaldehído (UF), Isobutilen de urea (BDU), Fosfato de amonio metálico (MEAP) urea recubierta con azufre(US).

Durante muchos años el objetivo de los investigadores en el campo de la agricultura fue el de hallar un fertilizante nitrogenado con un aprovechamiento controlado para alimentar la vida de las plantas a través de un tiempo prolongado. Materiales orgánicos y minerales naturales han sido empleados ampliamente como fuente de nitrógeno de liberación lenta. En los últimos años estos han sido obtenidos por la combinación del ión intercambiable de la zeolita y la disolución de apatita, los cuales se unieron a la urea para modificar sus propiedades y reducir sus pérdidas (Allen et al. 1993, 1995).

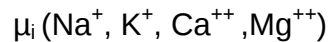
Adiciones de zeolita a la urea han permitido reducir sus pérdidas hasta niveles insignificantes. Además adiciones de clinoptilolita al sistema suelo-planta, demostraron que la nitrificación es lenta, reduciéndose la volatilización del amonio y un 11% del nitrato lavado, así como se incrementó hasta un 30% el amonio y potasio retenido y otros nutrientes para las plantas.

Así se tiene que los mecanismos de intercambio iónico que se producen cuando se mezclan la urea con la zeolita natural, son los siguientes:



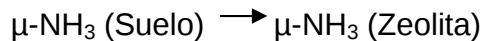
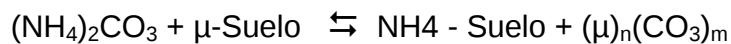
Esta depende del pH, la humedad, la temperatura, la actividad microbiana y otras.

K₁



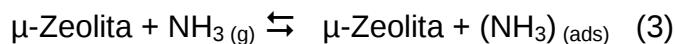
este depende del pH, cationes, tipo de zeolita, tipo de suelo.

K₂

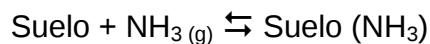
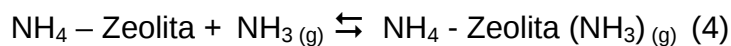


Adsorción:

K₃



K₄



El mecanismo del intercambio de la mezcla de urea con la zeolita está influenciado por diversos factores, entre los que se destacan el pH (H^+ y un catión concurrente), temperatura y la composición química de la solución acuosa. Los tipos y concentraciones de los iones, cationes concurrentes, solventes y agentes acomplejantes, que pueden alterar la calidad del intercambio entre estos dos materiales.

Según Allen *et al.* (1995), Ming *et al.* (1995) y Pansini (1996), cualquier tipo de apatita natural o sintética. El K^+ y el NH_4^+ se hacen disponibles por la reacción de intercambio iónico elevando la concentración de Ca^{2+} de la disolución de apatita, así como NH_4^+ y K^+ de los sitios de intercambio. Se ha podido demostrar que la zeolita cargada con amonio, superó la efectividad del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, disminuyendo las pérdidas por lavado y volatilización (Allen *et al.* 1995).

En Cuba, López (1984) encontró que las pérdidas de amonio por volatilización variaron ampliamente cuando el fertilizante se aplicó superficialmente y sin cubrir; cuando empleó la urea recubierta con azufre y la urea formaldehído, las pérdidas disminuyeron entre 2.07 y 1.56% respectivamente, estas pérdidas fueron aún menores cuando se recubrió la urea con zeolita.

John *et al.* (1988), realizaron investigaciones en diferentes condiciones y cultivos, con el empleo de la urea recubierta con zeolita al 5 y 10 % respectivamente, demostraron que con la aplicación de urea recubierta con zeolita al suelo, se produjo una reducción de las pérdidas de nitrógeno en forma de amonio entre 25-35% de nitrógeno aplicado ,en tanto la Urea comercial resultó ser el portador que mayores pérdidas presentó (50%).

Finalmente, la zeolita natural puede ser una solución ambiental en el manejo del nitrógeno procedente de los fertilizantes minerales eliminando las pérdidas que contaminan el entorno y disminuyen su eficiencia en la producción agrícola del país .

2.2. Importancia del nitrógeno en la agricultura.

El nitrógeno es incorporado al ciclo de la producción agrícola mediante los fertilizantes minerales y orgánicos. Forma parte de un gran número de compuestos que realizan funciones vitales en las plantas, tales como: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, etc. (Bartholomeo 1972 y Fasbender 1985).

El nitrógeno en el suelo representa solamente una parte del ciclo del nitrógeno en la naturaleza. La disponibilidad de este elemento es de gran importancia para las plantas, las que absorben nitratos y amonio, que utilizan en la síntesis de las proteínas y de otros compuestos orgánicos vegetales, los cuales son objeto de numerosos procesos de transformación, en su mayoría de carácter biológico.

Según Black (1975), el nitrógeno, a diferencia del fósforo y el potasio, comúnmente escasea en los suelos y en el 85% de las ocasiones, las plantas no obtienen las cantidades que requieren para su desarrollo, por lo que es imprescindible la aplicación de los fertilizantes nitrogenados.

En Cuba según González *et al.* (1984) las cantidades de fertilizantes nitrogenados que se aplicaban antes del triunfo de la Revolución eran sumamente exiguas, a partir del 1960 se comenzaron a emplear nuevas fuentes nitrogenadas como la urea y el nitrato de amonio y se manifestaron incrementos sensibles en el consumo de estos fertilizantes. Es a partir del año 1990 con la destrucción del Campo Socialista que el uso de elevadas cantidades de fertilizantes se vio limitada y en especial los nitrogenados, cuestión que afectó grandemente la agricultura del país.

De ahí la importancia de utilizar diferentes vías para incrementar la efectividad del nitrógeno, así como el aprovechamiento de sus formas asimilables por los cultivos, elevando su efecto en los rendimientos, con un menor impacto ambiental. (López, 1984; Dueñas, 1997 y John *et al.* 2001).

2.2.1. Pérdidas de nitrógeno por volatilización.

Un grupo importante de fertilizantes nitrogenados, tales como urea, sulfato de amonio, amoníaco anhidro, etc, sufren pérdidas por volatilización de amonio cuando se ponen en contacto directo con la superficie del suelo. Este singular proceso de pérdidas de nitrógeno, tiene influencia significativa en la eficiencia de la fertilización.

Las pérdidas de N por volatilización de los fertilizantes nitrogenados a base de urea es un proceso caracterizado por reacciones químicas y bioquímicas, producidas por la hidrólisis de la urea. Durante estas complicadas transformaciones el amonio se volatiliza disminuyendo la efectividad agronómica del fertilizante y aumentando la contaminación del medio ambiente.

Este mecanismo de pérdidas del N en el suelo, ha sido considerado uno de los responsables de la baja eficiencia de la fertilización nitrogenada. En los últimos años ha crecido la importancia de este fenómeno, debido por un lado, al uso preferencial de la urea y al incremento en el empleo del amoníaco hidratado como fuente de N, y por tanto, al aumento de la dosis de N en la fertilización de los cultivos.

Las pérdidas de N-NH_3 ocurren con mayor intensidad en suelos con pH neutro o alcalino, los arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC); alto contenido de carbonatos libres, baja retención de humedad y alta temperatura (Fenn y Escarzaga, 1976; Fenn y Kissel, 1976; Terman, 1979 ; Urquiaga et al. 1993, Malavolta, 1993). La acción de este proceso resulta magnificada cuando los fertilizantes amoniacales se aplican en la superficie del suelo, debido a la acción directa del viento sobre las pérdidas gaseosas.

En el caso de la urea, cuya hidrólisis depende de la humedad y de la presencia de la enzima ureasa (dependiendo de la masa microbiana del suelo), las pérdidas más significativas ocurren cuando este fertilizante se aplica en la superficie del suelo (Ferguson *et al.* 1986). Estos autores encontraron, en experimentos realizados en condiciones controladas pérdidas de N-NH_3 derivado de la urea (32%) y sulfato de amonio (52%), cuando se aplicaron estos fertilizantes en la superficie húmeda de un suelo calcáreo, mientras que enterrados a 2.5 cm de profundidad, las pérdidas gaseosas del Nitrógeno disminuyen prácticamente a la mitad. Las menores pérdidas de N se obtuvieron cuando estos fertilizantes se enterraron y el suelo estaba seco, asociándose las bajas pérdidas con la falta de humedad para que se desarrollen los procesos bioquímicos responsables de la hidrólisis de la urea y las reacciones químicas de las fuentes amoniacales con el suelo.

Para que el nitrógeno fertilizante esté realmente disponible para el cultivo será necesario un riego o una lluvia de intensidad suficiente que permita el ingreso del fertilizante dentro del suelo. Laurent *et al.* (1996) señalo que lo predominante es que las pérdidas de N

alcanzan su máximo valor cuando la eficiencia de la fertilización, por la influencia de la planta u otros factores es baja .

En las condiciones de Cuba, López (1984) encontró que las pérdidas de amonio por volatilización variaron entre 5.88% y 13.27% cuando los fertilizantes se aplicaron superficialmente al suelo, y entre 1.65% y 4.26% cuando se incorporaron.

2.2.2. Los fertilizantes nitrogenados y el medio ambiente.

El nitrógeno como ya se señaló, es uno de los elementos más dinámicos que se conoce, por su rápida transformación química y bioquímica en el suelo, su disponibilidad para las plantas puede disminuir al producirse pérdidas fuera del sistema suelo-planta, ocasionando daños al hombre, peces, animales domésticos y en general al medio ambiente (Urquiaga y Zapata, 2000).

Las pérdidas de este elemento pueden ocurrir principalmente en forma de nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) por lixiviación; en la forma de amoníaco (NH_3), por volatilización y en la forma de óxidos gaseosos (N_2O y NO), por desnitrificación. Todas estas formas de nitrógeno fuera del alcance del sistema de las plantas, pueden causar serios daños ambientales, e incluso a la propia salud del hombre como es el caso del nitrato (Dueñas *et al.* 1997; Molina *et al.* 1998; Urquiaga y Zapata, 2000). Las formas gaseosas contribuyen al efecto invernadero y cambios climáticos. Esto explica la permanente preocupación para aumentar la eficiencia de la fertilización nitrogenada y controlar sus pérdidas en la agricultura.

Según Urquiaga y Zapata (2000) y Molina *et al.* (2000) se considera que el nitrato es un serio problema en la calidad del agua potable para el hombre y como causa de la eutroficación de las aguas superficiales.

Los nitratos y particularmente los nitritos que de ellos se forman a partir de ciertas concentraciones en los productos vegetales, afectan la salud humana: los nitritos

transforman el hierro bivalente de la hemoglobina en hierro trivalente formándose la metahemoglobina, la que no es capaz de transportar el oxígeno, función fundamental de la hemoglobina. Los nitratos también pueden reaccionar directamente con la hemoglobina y formar la nitrohemoglobina que tampoco es capaz de realizar el transporte del oxígeno y como resultado ocurre la asfixia de los tejidos del organismo (Tserling, 1979).

Es por ello que las aplicaciones de fertilizantes deben estar basadas fundamentalmente en las necesidades reales de cada cultivo y de la fertilidad y características de cada tipo de suelo, para de esta forma evitar las contaminaciones de las producciones agrícolas, así como del suelo y las aguas subterráneas por las posibles pérdidas que pueden ocurrir de nitrógeno. Pero también con el uso de una agricultura ecológica o el empleo de alternativas a la fertilización mineral nitrogenada se pueden contrarrestar las afectaciones antes planteadas (Alfonso *et al.* 1999).

En países del hemisferio Norte , los niveles N-NO_3 para el agua potable, ` considerados como límites aceptables varían de 10 a 20 mg N. l^{-1} (Aldrich,1980).

Las fuentes más comunes de nitratos en el suelo son los fertilizantes nitrogenados, las aplicaciones excesivas o no controladas de estos fertilizantes son las causas de este problema (Bartholomew, 1972; Dueñas, 1997; Zapata , 2000).

Estas cantidades excesivas pueden perjudicar la calidad del producto agrícola, disminuyendo su valor nutritivo y contribuyendo a su alteración durante su almacenamiento (Meneev *et al.* 1988).

En Cuba, García- Roché (1986) determinó el contenido de nitrato en 19 productos vegetales, listos para el consumo, cultivados en municipios de la provincia La Habana. Este autor reportó que existe una gran variabilidad en los contenidos de nitratos que presentan estos frutos, atribuyéndolo a las diferencias entre las formulaciones del fertilizantes y el incumplimiento de las normas para su aplicación.

En 1989 el CNSF de Cuba y el Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos establecieron límites preliminares permisibles para los contenidos de nitrato en algunos productos agrícolas, recomendándose la disminución de la dosis de los fertilizantes nitrogenados sin afectar los rendimientos, con el objetivo de disminuir los contenidos de nitratos en los productos agrícolas.

2.3. El cultivo del tomate

El tomate es la hortaliza más importante en el mundo. Este se cultiva en un amplio rango de latitudes desde Ecuador hasta casi el Círculo Polar. Cada vez más esta especie cobra mayor importancia para la alimentación humana dada la posibilidad que tiene en forma de salsas de acompañar a diversos cereales y tubérculos que constituyen la dieta básica de muchos pueblos en el planeta tierra (Gómez *et al.* 2000).

La producción cubana de esta hortaliza se sitúa alrededor de 331 miles de toneladas con un rendimiento promedio de 10.02 t. ha⁻¹. Estas cifras sitúan a Cuba en el lugar 25 en cuanto a superficie cosechada, el 33 para la producción total y el 94 para el rendimiento por unidad de superficie a nivel mundial de acuerdo con datos de la FAO (1993 y 1995).

El tomate está considerado como un cultivo con una alta demanda de nutrientes minerales debido principalmente, al gran volumen de frutos que se producen por unidad de superficie. La cantidad de nutrientes encontrados en los frutos cosechados es relativamente superior en comparación con las hortalizas, especialmente de potasio (Meneses Dos Santos, 1992). En Cuba, Maestrey (1987) reportó que, de acuerdo a los tipos de suelos, la demanda de fertilización mineral se encontraba en el orden de 120-200 kg. de N, 140-150 kg de P₂O₅ y de 100-225 kg de K₂O por hectárea.

Para este cultivo en los suelos Ferralíticos Rojos se recomiendan las dosis de fertilizantes siguientes: N-150 kg., P₂O₅ –75 kg. y de K₂O 100 kg. por hectárea respectivamente. Se establece aplicar todo el fósforo y potasio con 1/3 del nitrógeno en el trasplante y los 2/3 restantes del nitrógeno 25 ó 30 días después (Instituto de Suelos, 1999).

El impacto de la "Revolución Verde", impulsó el uso de grandes dosis de fertilizantes minerales en el cultivo del tomate, en particular de nitrógeno cuyas cantidades oscilaron entre 120 y 200 kg. de N/ha. Estas cifras de fertilizantes no reportaron los beneficios esperados, comenzándose a observar un franco deterioro en el entorno, así como altos tenores de NO_3 en el fruto con su potencial efecto en la salud humana.

Una de las causas de la baja efectividad de los fertilizantes minerales nitrogenados en la producción de tomate, se fundamenta en la fuente portadora de este nutriente, siendo la fundamental la urea, cuyas transformaciones químicas y bioquímicas provocan grandes pérdidas por volatilización de NH_4 y de lixiviación de NO_3^- ocasionando pérdidas económicas y contaminación del medio ambiente.

Si se quiere elevar el aprovechamiento del nitrógeno en la producción de tomate, hay que evitar las pérdidas que sufre la urea y otras fuentes nitrogenadas, esto es factible a través del recubrimiento o las mezclas de estos fertilizante con productos inhibidores y/o adsorbentes de sus transformaciones en el suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Condiciones experimentales generales.

El trabajo experimental se ejecutó en áreas de la Estación Experimental de Nutrición Vegetal “La Renee” y de la Empresa de Cultivos Varios “19 de Abril”, ambos enclavados en el municipio de Quivicán, los que constituyen agroecosistemas del sur de La Habana. (figura 2).

3.1.1. Características del suelo

Las investigaciones fueron desarrolladas en un suelo Ferralítico Rojo Compactado según clasificación del Instituto de Suelos (1999). Los principales índices que caracterizan los sitios experimentales se exponen en la Tabla 1, destacándose su pH neutro y los valores de S y T, los que se encuentran dentro de los límites establecidos por Mesa *et al.* (1984) y el Instituto de Suelos (1994) para este tipo de suelo. En sentido general los valores de la materia orgánica y el nitrógeno total oscilaron en el rango de mediano a bajo, mientras que los valores de las formas disponibles de nitrógeno fósforo y potasio variaron en límites de medio a alto, el resto de los parámetros físicos se corresponden con la naturaleza de este suelo.

Tabla 1. Principales índices del suelo Ferralítico Rojo Compactado (profundidad 0 – 20 cm).

Suelo	pH		P_2O_5	K_2O	N. total	M.O.	CCB	CCC	Textura (%)		
	H ₂ O	KCL	mg. 100g de suelo			%	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹		Arena	Limo	Arc.
La Reneé	7.0	6.3	80	30.35	147	2.6	16.2	20	7.39	17.36	75.25
ECV. 19 de Abril	6.8	6.3	55.7	40.2	137	2.2	15	19	5.75	18.25	76.00

Figura 2 áreas de trabajo

3.1.2. Características climáticas.

Las lluvias ocurridas durante los ensayos que se ejecutaron en la Estación Experimental La Renee en las campañas: 1994 – 1995; 1995 – 1996; 1996 – 1997 y las de validación en la ECV 19 de Abril en: 1996 – 1997 y 1997 – 1998, presentaron un comportamiento cercano al de los valores medios de 13 años (1987 – 1999), también llamados valores básicos (figura 3a).

Debe destacarse que en los meses de noviembre de 1997 hasta Marzo de 1998, las anomalías encontradas (diferencia de los valores de ese año con la media), reflejan desviaciones por encima de las lluvias caídas, fuera de lo común para esa época, lo que unido a las variaciones de la temperatura ocurridas en esa campaña, ligeramente superiores, con respecto a la media histórica, hacen ese año especial (figura 3b).

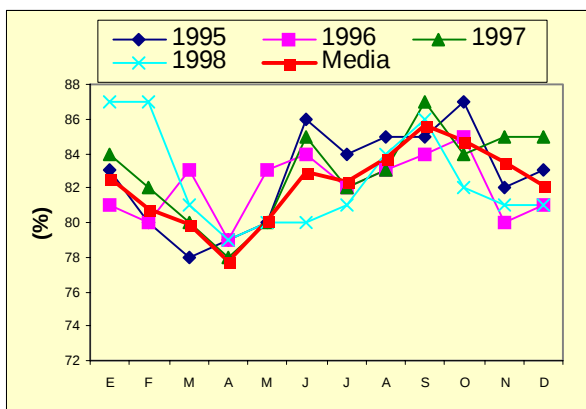


Figura 3a. Lluvias caídas durante los ensayos y media de 13 años

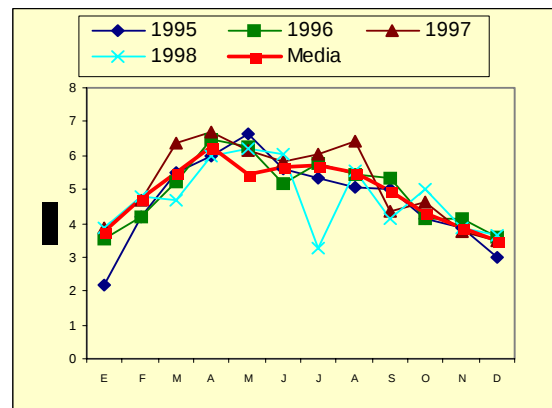


Figura 3b. Temperaturas medias durante los ensayos y media de 13

En general el comportamiento climático responde a las características del país, es decir la ocurrencia de dos períodos bien marcados: el primero, de mayo a octubre considerado lluvioso, donde caen más del 60% de las precipitaciones anuales. El segundo, de noviembre a abril denominado seco, donde se produce menos del 40% de las lluvias del año. Los datos reportados en la figura 3b permiten confirmar además que los meses más

calurosos son los de julio y agosto, y los más fríos, los de enero y febrero; también aparecen los datos de la humedad relativa (figura 3c) y de la evaporación (figura 3d).

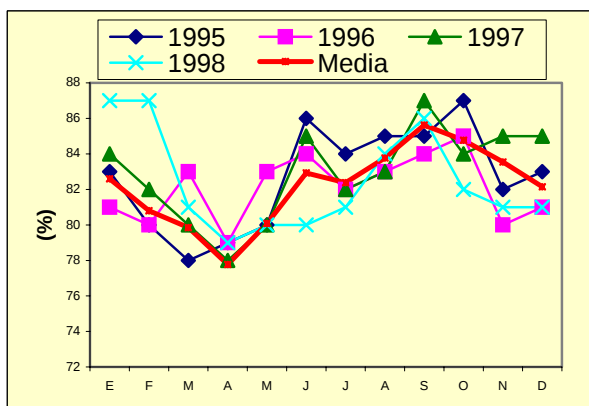


Figura 3c. Humedad relativa durante los ensayos y media de 13 años

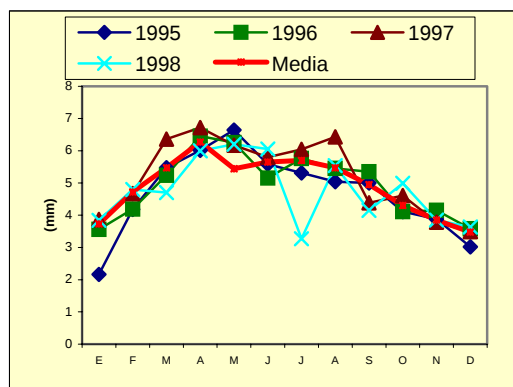


Figura 3d. Evaporación durante los ensayos y media de 13 años

3.2. Metodología experimental

Para cumplir con los objetivos propuestos, se realizaron experimentos en condiciones controladas y de campo, así como la validación de los resultados que se llevaron a cabo en condiciones de producción en la Empresa de Cultivos Varios

“19 de Abril”. En total se realizaron cinco experimentos en condiciones controladas, tres en campo y dos validaciones.

3.2.1. Descripción de los experimentos ejecutados.

3.2.1.1. Experimento No. 1. Cálculo de las pérdidas de nitrógeno en condiciones controladas.

Para determinar las pérdidas de nitrógeno en forma de amonio, se emplearon macetas de 10 kg de capacidad, sin plantas, donde se colocaron cilindros plásticos con un área de 0.0078 m^2 , según metodología de Nommik (1973). Los tratamientos estudiados fueron como sigue:

Testigo (PK)

- Urea comercial
- Urea comercial + 15% de zeolita

- Urea comercial + 20% de zeolita
- Urea comercial + 30% de zeolita

Las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio empleadas fueron : 3,26; 1,50 y 1,25 gramos por macetas de 10 kg. de capacidad respectivamente. El diseño empleado fue completamente aleatorizado , conformándose un esquema de cinco tratamientos y cuatro réplicas. Los muestreos se realizaron a los 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21, 28 y 35 días, determinándose los miligramos de nitrógeno volatilizados en forma de amonio (Nommik, 1973)

3.2.1.2. Experimento No. 2 : Efecto de la Urea mezclada con Zeolita en condiciones controladas.

Se realizaron experimentos en condiciones de macetas con igual capacidad que en el Experimento No. 1 y una densidad de población de seis plantas por maceta. Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

- Testigo(PK)
- Urea comercial
- Urea comercial + 15% de zeolita
- Urea comercial + 20% de zeolita
- Urea comercial + 30% de zeolita

La dosis del fertilizante nitrogenado fue de 3,26 gramos de urea por macetas de 10 kg. de suelo, en tanto el fósforo y el potasio se aplicaron a razón de 1,50 y 1,25 gramos de superfosfato sencillo y cloruro de potasio por macetas de 10 kg de suelo respectivamente. Se empleó un diseño completamente aleatorizado conformándose un esquema de cinco tratamientos con cuatro réplicas. La cosecha de la biomasa de la parte aérea se realizó a los 50 días, para determinar los % de materia seca producida y de N, P, y K.

3.2.1.3. Experimento No 3: Efecto de la Urea mezclada con Zeolita en los componentes del rendimiento del tomate en condiciones de campo

Se realizaron tres experimentos en condiciones de campo para determinar la efectividad agronómica de la urea mezclada con zeolita en los componentes del rendimiento del tomate. Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

- Testigo (PK)
- Urea comercial
- Urea comercial + 15 % de Zeolita
- Urea comercial + 20 % de Zeolita
- Urea comercial + 30 % de Zeolita

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas, distribuyéndose los tratamientos de manera aleatoria. Las parcelas experimentales tuvieron un área total de 44,8 m² (5.6 m de ancho y 8 m de largo), mientras que el área de cálculo fue de 22.4 m² (2.8 m de ancho y 8 m de largo).

Los portadores para la fertilización fosfórica y potásica se aplicaron antes del transplante en dosis de 20 y 50 kg./ha respectivamente. La fertilización nitrogenada se aplicó de forma fraccionada, 1/3 en el tape de palito y 2/3 a los 30 días de esta. Este experimento se ejecutó durante las campañas 1994 –1995; 1995 -1996 y 1996 -1997.

3.2.1.4 Experimento No 4: Validación de los resultados de la Urea mezclada con Zeolita en condiciones de producción.

En las campañas 1996 -1997 y 1997 - 1998 se llevó a cabo la validación en la Empresa de Cultivos Varios “19 de Abril”, comparando los siguientes tratamientos:

- Variante de producción contempló el aporte de 7 t/cab de Formula Completa 8 -7.5 - 12 + 2.5 t/cab de Urea comercial equivalente a 42 - 39 – 63 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O y 86 kg/ha de N respectivamente.

- Variante Nueva contempló el aporte de 7 t/cab de Formula Completa 8 -7.5 -12 + 2 t/cab de la mezcla de Urea comercial + 15 % de Zeolita, equivalente a 42 - 39 – 63 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O y 69 kg/ha de N respectivamente.

El área total fue de dos hectáreas, empleándose un marco de plantación de 1.4 m por 0.25 m. El área de cálculo fue de 28 m² (10 m de largo por 2.8 m de ancho), tomándose 16 parcelas dispuestas en bloques al azar a lo largo y ancho de toda el área. La fórmula completa se aplicó antes del transplante y la fertilización suplementaria con urea a los 30 días de la primera fertilización.

En los experimentos de condiciones controladas , campo y validación se utilizó el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), variedad Campbell 28, de crecimiento determinado.

En los experimentos 3 y 4 las labores culturales se realizaron según las normas técnicas establecidas para el cultivo en cuestión. Se efectuó un muestreo foliar, para lo que se tomo la hoja, a los 50 días para determinar los porcentajes de NPK con el fin de conocer su estado nutricional en ese estadio de su crecimiento.

Las cosechas se realizaron entre los 110-120 días, determinándose los componentes del rendimiento : No de frutos /plantas , peso del fruto y rendimiento (t/ha) , así como los parámetros de calidad: % de M .seca, % Brix, % NPK, Vit. C (mg A.A) y NO₃⁻ (mg/kg).

Se empleó zeolita del yacimiento de “Tasajeras” (tabla 2), con alrededor de 70 % de zeolitización. Este yacimiento se encuentra en la provincia de Villa Clara, clasificándose como zeolita no cargada; la granulometría de este material osciló entre 1-3 mm.

Tabla 2. Características químicas y mineralógicas de la zeolita natural

%													meq/100g			Comp. mineralógica		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	Na ₂ O	PPI	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ¹⁺	K ¹⁺	CIC	Clin.	Mor.	Mon			
57.4	13.5	2.02	3.63	1.81	0.80	1.14	17.3	63.7	15.6	9.08	1.54	122	50.0	20.0	20.0			

Tanto los experimentos en condiciones controladas y de campo fueron fertilizados con los siguientes portadores:

N: Urea comercial (46 % N)

P₂O₅: Superfosfato Sencillo (20 % P₂O₅)

K₂O: Cloruro de Potasio (60 % K₂O)

3.3. Análisis de Laboratorio

3.3.1. Análisis de Suelos

Las muestras fueron secadas al aire y molinadas. Los métodos utilizados para las determinaciones analíticas fueron los siguientes:

- PH – Método potenciométrico relación suelo –solución 1:2.5
- Nitrógeno – Método Kjeldhal
- P₂O₅ y K₂O – Método de Oniani.
- Materia Orgánica - Método de Walkley – Black
- CCC y CCB – Método de Schatschabel
- Textura – Análisis mecánico por el Método de la pipeta de Robinson.

Determinación del amonio volatilizado:

Se realizaron con KCl 1 N con lavados sucesivos mediante bomba de vacío y se titró con ácido sulfúrico 1N

Formas del Nitrógeno: Según Pasternak y Smohanivov (1974) y Dueñas (1997).

3.3.2.- Análisis de Plantas y Frutos.

En el caso de los experimentos en condiciones controladas, se cosechó la biomasa de la parte aérea entre los 40 y 50 días, determinándose los porcentajes de M. S., N, P y K mientras que a los experimentos de campo, se les realizó muestreo foliar a los 50 días, analizándose los mismos parámetros .

En el caso de los frutos se seleccionaron muestras compuestas por 10 frutos maduros por tratamientos, los cuáles se secaron y se procedió a los análisis correspondientes.

3.3.3. Determinación de los índices de aprovechamiento y de eficiencia agronómica de la mezcla de urea más zeolita.

En los ensayos de campo se determinó la exportación de NPK con el fruto y se estimaron los índices de aprovechamiento y de eficiencia agronómica de la mezcla de urea con la zeolita, para lo que se emplearon las siguientes formulas:

$$\text{Coeficiente de aprovechamiento} = \frac{\text{kg. de Nitrógeno extraídos/ha}}{\text{kg. de Nitrógeno aplicados/ha}} \times 100$$

$$\text{EficienciaAgronómica} = \frac{\text{kg. de frutos producidos/ha}}{\text{kg. del Nitrógeno aplicados/ha}}$$

Los métodos de análisis de plantas y frutos se ejecutaron según el manual de técnicas analíticas del Instituto de Suelos (1994).

3.4. Evaluación Estadística y Económica.

3.4.1. Análisis Estadísticos.

Se les realizó análisis estadístico a todas las variables en dependencia de los diseños experimentales.

- Condiciones controladas: Análisis de varianza en correspondencia al diseño completamente aleatorizado ejecutado.
- Condiciones de Campo: Análisis de varianza en correspondencia al diseño de bloques al azar utilizado. Se empleó el programa estadístico MSTAT-C.

La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5 % de significación (Duncan,1954)

3.4.2. Evaluación económica.

La evaluación económica de los resultados se efectuó en el ensayo de validación en condiciones de producción, para lo que se empleó la metodología propuesta por la FAO (1980), calculando los siguientes indicadores.

- ♦ Valor de la producción (\$) = rendimiento del cultivo. Precio de 1t de tomate.
- ♦ Valor del aumento de la producción (\$) = Valor de la producción de los tratamientos – valor de la producción del testigo.
- ♦ Costo del fertilizante (\$) = Cantidad de fertilizante aplicado X el precio del fertilizante.
- ♦ Costos generales = gastos de todos los insumos y actividades realizadas.
- ♦ Beneficio neto (\$) = Valor de la producción – costos.

Relación Valor /Costo = Valor de la producción / costos generales

Para el cálculo económico de los indicadores propuestos se tuvieron en cuenta los siguientes gastos.

- Precio de los fertilizantes minerales según listado oficial del MINAGRI
 - Urea \$180,00/t.
 - Formula completa \$160,00/t
- Precio de la zeolita natural según la Empresa Comercializadora Geominera (2001).
\$ 110,00/t
- Precio de la tonelada de tomate de industria (precio pagado a los productores en la cosecha 1998 -1999). \$340.00.
- Gastos en preparación de tierras por hectárea \$116.
- Gastos en compra de las posturas de tomate \$50/ha.
- Gastos por riego \$281/ha.
- Gastos por fumigaciones \$200/ha
- Atenciones culturales \$100/ha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la urea mezclada con zeolita en los contenidos, formas y reducción de las pérdidas por volatilización del nitrógeno en el suelo.

Formas y contenido del nitrógeno en el suelo.

El aporte de mezclas de zeolita en diferentes proporciones a la Urea comercial mejoran significativamente el contenido de las diferentes formas de nitrógeno en el suelo Ferralítico Rojo. Así se tiene que según los datos presentados en la tabla 3, la urea mezclada con zeolita no influyó significativamente en el contenido de la materia orgánica del suelo. El Nitrógeno total se incrementó en el suelo, cuando se aplicó la mezcla de urea + zeolita, debido probablemente a la disminución de las pérdidas gaseosas del nitrógeno (Ferguson y Pepper 1987; Galarneau *et al.* 2001).

Con respecto al % del nitrógeno total de la materia orgánica, hay mayor participación de éste por haber menos pérdidas del elemento en cuestión y por tanto mayor eficiencia del fertilizante nitrogenado.

El nitrógeno total de la forma mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), procedentes de la urea presentó diferencias con respecto al testigo sin nitrógeno y con el tratamiento de la Urea comercial, al observar los datos del empleo de la urea mezclada con zeolita en diferentes % aumentan los contenidos de nitrógeno y sus formas, debido a la selectividad de la zeolita por el amonio intercambiable presente en el suelo, propiedad que le confiere a la misma, según Allen y Ming (1995); Ming *et al.* (1995) y Pansini (1996) de convertirse en un fertilizante de liberación lenta o retardada.

En el caso de sus formas inorgánicas ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), la mezcla de la zeolita en diversas proporciones con la Urea comercial reducen sus pérdidas e incrementan las formas del nitrógeno mineral con diferencias significativas respecto al testigo y la Urea comercial. Se comprueba que las formas de N- NO_3^- predomina sobre las formas de N- NH_4^+ .

El nitrógeno hidrolizable de fácil asimilación por las plantas, se incrementa significativamente respecto al testigo, cuando se mezcló la zeolita al 15% con la urea, los tratamientos con las mayores proporciones de zeolita no mostraron diferencias significativas.

Tabla 3. Efecto de la urea mezclada con zeolita en el contenido de la materia orgánica y las formas del Nitrógeno del suelo.

Tratamientos	M.O		N total		N mineral		N hidrolizable (mg/kg)
	%	%	% N en la MO	Total N Mg/kg	NO₃⁻	NH₄⁺	
Testigo PK	2.63	0.11c	4.32b	13.42c	5.19c	8.23c	79.75b
PK + Urea comercial	2.64	0.15b	5.61a	23.10b	12.70b	10.40b	83.35b
PK+ Urea +15%de zeolita	2.63	0.17a	6.32a	35.87a	20.80a	15.07a	115.21a
PK+ Urea +20%de zeolita	2.61	0.17a	6.34a	35.63a	20.87a	14.50a	109.14a
PK+ Urea +30%de zeolita	2.60	0.17a	6.36a	34.66a	20.10a	14.56a	113.28a
Esx + Cv(%)	NS 9.64	0.02* 11.48	0.31* 10.74	1.81** 12.67	2.32** 11.23	0.63** 10.00	6.19* 12.36

a, b, c, d, e,... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$ de acuerdo con la prueba del Rango Múltiple de Duncan.

El nitrógeno se incrementó en el suelo siempre que se aplicó una fuente nitrogenada, destacándose que la urea mezclada con 15% de zeolita en general presenta los mayores contenidos de Nitrógeno en todas sus formas. Estos resultados vienen a confirmar los obtenidos por John *et al.* (1997, 2000 y 2001) quienes trabajando con el recubrimiento o mezclas de los fertilizantes urea y nitrato de amonio con zeolita, demostraron que estos productos lograron su mayor efectividad cuando se empleó un 15% de zeolita en la mezcla, tomando como indicadores otros cultivos.

Los resultados obtenidos también concuerdan con los reportados por Urquiaga y Zapata (2000), quienes obtuvieron que la aplicación de urea sola o mezclada al 15 y 30% de zeolita respectivamente produjo un efecto positivo de la misma en el cultivo del arroz, lo cual estaría asociado con la capacidad de este material en reducir las pérdidas de NH₃ del suelo. La reducción de las pérdidas producidas por la zeolita fueron muy significativas

variando de 40 a 50% lo que demostró el aumento de la eficiencia de la recuperación del Nitrógeno del fertilizante por las plantas.

Reducción de las pérdidas de nitrógeno por volatilización.

En el suelo Ferralítico Rojo las mayores pérdidas de N-NH_4 se producen entre 5 y 15 días después de aplicada la Urea comercial y mezclada con zeolita (Figura 4). La Urea comercial tuvo las pérdidas más elevadas a los 5 días, con un valor de 46 mg. de amonio, es decir 3,06% de la cantidad total aplicada. Mientras que cuando la urea se mezcló con la zeolita en diferentes proporciones las pérdidas se redujeron a la mitad, presentando valores casi iguales las mezclas de urea + 15% y 20% de Zeolita, en los cuales a partir de los primeros 5 días el ritmo de pérdidas disminuye en todos los tratamientos hasta índices de volatilización inferiores a la quinta parte de su valor máximo.

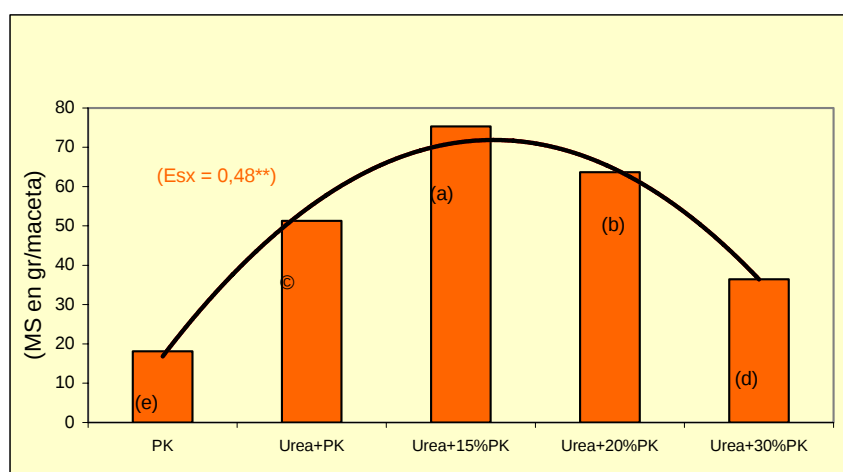


Figura 4. Comportamientos de las pérdidas de N-NH_4 en el tiempo

La descomposición de la urea hasta las formas amoniacales depende de la actividad microbiana, este proceso es más intenso en los primeros 15 días, por esta razón disminuye el ritmo de pérdidas. Los portadores con zeolita se comportan como fertilizantes de liberación lenta, por lo que sus pérdidas en el tiempo son graduales, lo que pudiera explicarse por la poca accesibilidad que tienen los microorganismo al amonio sorbido por la zeolita según Leggo (1997); Tametti *et al.* (1997) y Mumpton (1999).

Las pérdidas de Nitrógeno acumuladas (figura 5) de la Urea comercial a los 35 días alcanzaron un valor de 164,70 mg., lo que equivale al 11% de la dosis aplicada, ambos

valores son superiores de forma significativa al resto de los tratamientos, le siguen en orden descendiente la urea + 15% de zeolita; urea + 20% de zeolita y por último la urea + 30% de zeolita. Como puede apreciarse hubo una significativa disminución de la volatilización en la medida que aumentaron los porcentajes de zeolita en las mezclas.

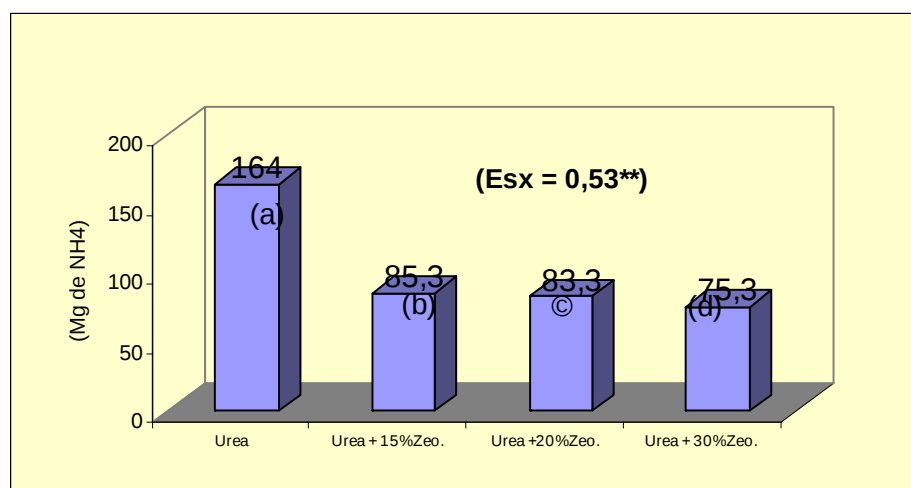
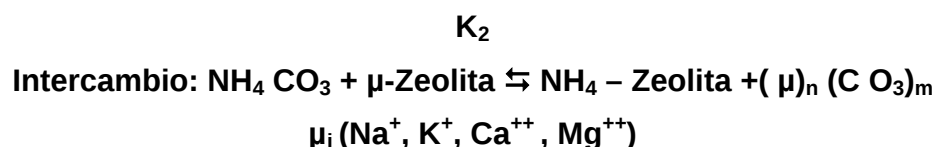


Figura 5. Pérdidas de Nitrógeno acumulado en 35 días

El comportamiento de las pérdidas en la Urea comercial puede explicarse por el hecho de que al producirse su hidrólisis se forma un compuesto muy inestable $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ que propicia la rápida liberación del amonio, tal como se aprecia en la ecuación siguiente:

Hidrólisis: $\text{NH}_2\text{C O NH}_2 = (\text{NH}_4)_2 \text{C O}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ la cual depende del pH, humedad, temperatura y la actividad microbiana entre otros factores, mientras que en el mecanismo de intercambio de la urea con la zeolita, el amonio queda retenido por este mineral según la expresión siguiente:



Estos resultados coinciden con los reportados por Sherman (1984); López (1984); Eyde (1992) y Urquiaga y Zapata (2000), quienes señalaron que en la medida que aumenta el % de zeolita disminuyen las pérdidas, esto pudiera deberse a la gran eficiencia de la zeolita como agente acondicionador de la urea, lo que se encuentra relacionado con su

capacidad de adsorción y su alta selectividad por el ión amonio. En igual sentido se han manifestado John *et al.* (1988).

4.2. Influencia de la urea mezclada con zeolita en el crecimiento y producción de materia seca y los contenidos de NPK del tomate en condiciones controladas.

En condiciones controladas la variante de Urea + 15% de zeolita produjo 75.32 g/maceta de materia seca (figura 6), lo que la hace más eficiente de forma significativa comparada a los restantes tratamientos. Estos resultados sugieren la influencia directa que sobre la absorción y asimilación del nitrógeno ejerce la zeolita como agente modificador de los fertilizantes nitrogenados, la cual es capaz de adsorber una gran cantidad del amonio liberado y cederlo paulatinamente, de ahí la importancia de su utilización como aditivo de los fertilizantes nitrogenados, hecho que coincide con los resultados obtenidos ya que el mejor comportamiento de la materia seca se logró con el 15 % menos del fertilizante nitrogenado que se suministró al tratamiento fertilizado con Urea comercial.

Resultados similares obtuvieron Allen and Ming (1995); Isadilos *et al.* (1997); Mumpton (1999), los que admiten que cuando la zeolita con diferentes portadores de Nitrógeno es cargada, se comporta como un fertilizante de liberación lenta, y la saturación de la zeolita por este ión nutriente (amonio) aumenta la disponibilidad del nitrógeno para las plantas.

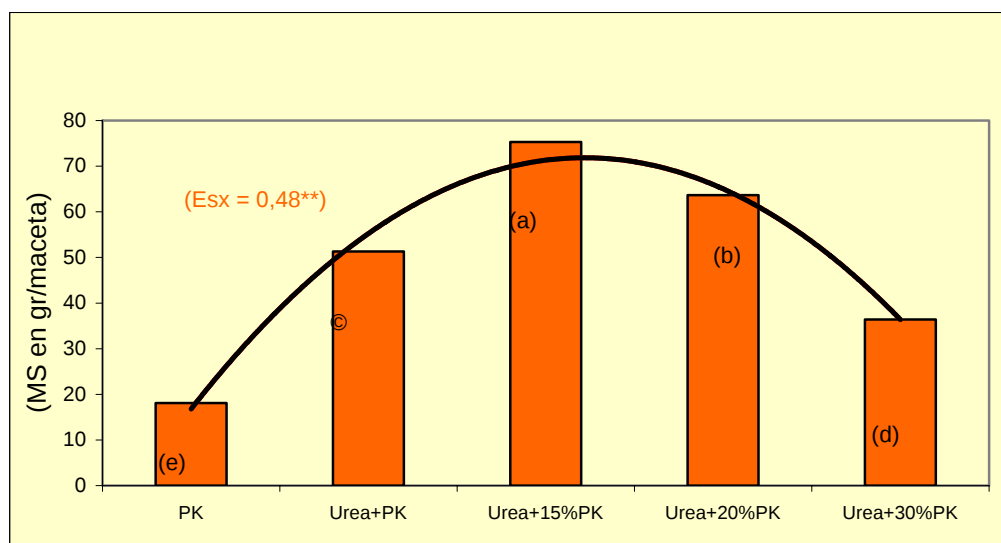


Figura 6. Efecto de la urea + zeolita en la producción de materia seca.

El tratamiento urea más zeolita al 30% fue el que produjo el menor contenido de materia seca, con relación a la variante Urea comercial, lo cual puede deberse a la reducción de la dosis del fertilizante nitrogenado, (70 kg/ha), además de una mayor retención de amonio por la zeolita, debido a la propiedad de intercambio iónico que esta posee, este amonio es liberado paulatinamente, pudiendo afectar el desarrollo del cultivo, por la no disponibilidad del nutriente en la etapa comprendida (45 días), lo que demuestra la importancia de la fertilización nitrogenada para la nutrición del cultivo en esta etapa de su desarrollo. Resultados similares obtuvieron (Gómez *et al.* 1997 ; Terry *et al.* 1997 y Hernández 2000).

En la figura 7 aparecen los datos correspondientes a los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio de la materia seca foliar, en cuanto a los valores de nitrógeno se observa que la variante del 15% de zeolita sólo presenta diferencias significativas con respecto al tratamiento del 30% de zeolita y no con el de 20% ni con la Urea comercial, por su parte el fósforo encontrado en los menores contenidos foliares no difiere significativamente del 20% de zeolita y de las variantes de 30% de zeolita y Urea comercial, por último el potasio que presenta los mayores contenidos foliares sólo presentó diferencias significativas con la variante del 30% y no con las de 20% ni con la Urea comercial.

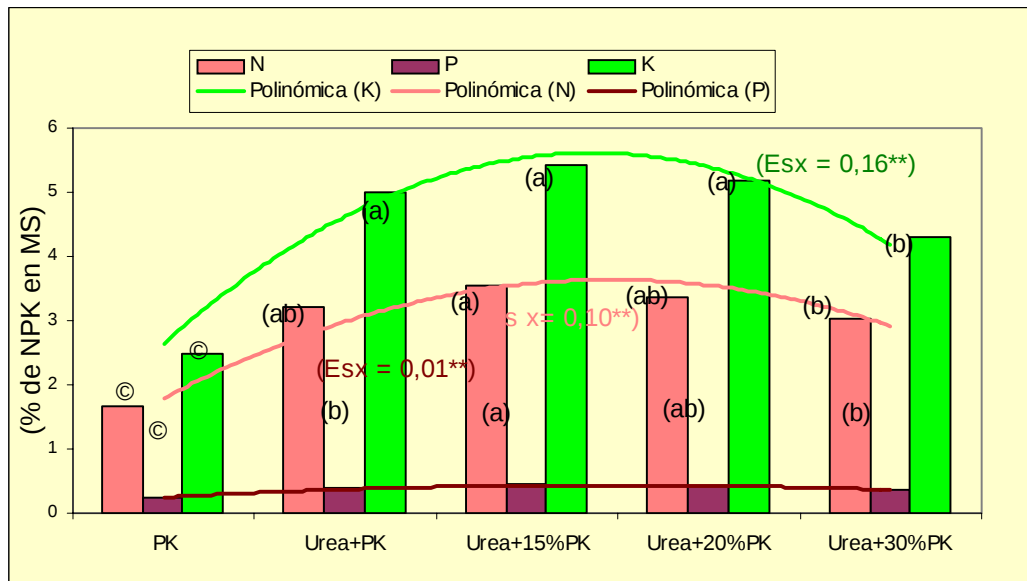


Figura 7. Efecto de la urea + zeolita en los contenidos de NPK de la materia seca.

Este comportamiento puede ser debido en primer lugar a la eficiencia de la urea al combinarla con la zeolita, también a la adsorción del potasio presente en el suelo derivado de la incorporación de la zeolita. El contenido de fósforo por su parte, puede ser debido a su condición de anión el cual no es intercambiado por la zeolita (Milan 2000).

Esta superioridad de la variante del 15% de zeolita demuestra una relación directa con las propiedades de adsorción, intercambio catiónico y la selectividad por el ión amonio que presenta la zeolita; comportamiento que puede explicarse por encontrarse el cultivo en plena fase de crecimiento vegetativo, después de lo cual se realiza la translocación de estos nutrientes hacia los frutos. Similares resultados fueron obtenidos por Widders y Lorenz (1982) y Adjanohoun (1996), señalando que los tenores foliares de estos elementos decrecieron del 20 al 40 % con la aparición de los frutos de tomate.

4.3. Influencia de la urea mezclada con zeolita en el rendimiento y calidad del tomate en condiciones de campo.

Con respecto al rendimiento (tabla 4), los mayores valores de forma significativa estuvieron asociado al tratamiento donde se aplicó la urea + 15% de zeolita superando a los demás tratamientos, excepto en el primer año en el que no difirió de forma significativa con la variante de urea + 20% de zeolita, el que no obstante le sigue en su efecto con una tendencia a superar la variante de urea + 30% de zeolita y la de Urea comercial. El efecto antes observado se ve más marcado en la media de los tres años evaluados, es decir continúan destacándose los tratamientos donde se incorporó la zeolita al 15% seguida por la del 20 %, con diferencia significativa entre ambas.

En relación con el número de frutos (tabla 4) existe un comportamiento similar aunque más marcado a favor del tratamiento de urea + 15% de zeolita, respuesta que viene a confirmar el comportamiento de los rendimientos. Para la variable peso de los frutos, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de 15 y 20% de zeolita pero si de ambas con respecto a las restantes variantes excepto en el promedio de los tres años para el caso de la urea +20% de zeolita que no muestra diferencias con los valores de la Urea comercial.

Los resultados pueden deberse al efecto positivo de la zeolita en mezclas con fertilizantes nitrogenados, teniendo la capacidad de reducir las pérdidas de NH_3 del suelo, aumentando la eficiencia de dicho fertilizante. Al respecto Itsuo Goto (1997); Urquiaga y Zapata (2000) y John (2001), en experimentos realizados encontraron reducciones muy significativas de las pérdidas del amonio producida por la zeolita variando de 40 a 50%. Este comportamiento puede estar influyendo positivamente en el aumento de la eficiencia del fertilizante nitrogenado por las plantas.

Tabla 4. Efecto de la urea mezclada con zeolita en los componentes del rendimiento del tomate en condiciones de campo.

Tratamientos	1er año			2do año			3er año			X de 3 años		
	No. Fruto/planta	Peso de fruto (g)	Rend. t/ha	No. Fruto/planta	Peso del fruto (g)	Rend. t/ha	No. Fruto/planta	Peso del fruto (g)	Rend. t/ha	No. Fruto/planta	Peso del fruto (g)	Rend. t/ha
0PK	10.65c	25.30c	7.58c	10.09d	29.98c	8.57d	7.85d	26.45c	6.25d	9.53d	27.24d	7.57d
PK + Urea comercial	18.74b	36.75b	20.43b	20.11bc	36.95b	23.29bc	20.78bc	33.65b	24.70bc	19.88bc	37.78bc	22.81bc
PK+ Urea +15% de zeolita	23.70a	44.28a	26.78a	25.02a	46.70a	30.80a	26.56a	41.80a	32.53a	25.09a	44.26a	30.04a
PK+ Urea +20%de zeolita	20.27ab	41.35a	25.94a	22.02b	43.13a	26.00b	22.61b	41.18a	26.43b	21.63b	41.89ab	26.12b
PK+ Urea +30%de zeolita	18.46b	35.40b	18.30b	18.18c	35.83b	21.23c	19.11c	34.25b	22.53c	18.58c	35.16c	20.69c
Esx + Cv(%)	1.07--** 11.67	1.18** 6.46	1.07** 10.85	0.83** 8.65	1.32** 6.82	1.08** 9.89	0.85** 8.80	1.22** 6.88	1.03** 9.00	0.74** 7.85	1.90** 10.22	1.22** 11.41

a, b, c, d, e,... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$ de acuerdo con la prueba del Rango Múltiple de Duncan.

Tanto en los tres años de estudio como en su valor medio, la variante que recibió urea +30 % de zeolita mostró rendimientos significativamente inferiores a las variantes a las que anteriormente se hizo referencia. Es importante destacar que la cantidad de nitrógeno correspondiente a esta variante fue inferior a la demanda del cultivo, ya que se dejó de aplicar 30 kg. ha⁻¹. Esta respuesta puede deberse también a la retención que ejerce la zeolita sobre el amonio, que se intensifica con la mayor cantidad de zeolita que se aporta con esta variante.

Estos resultados demuestran que el nitrógeno es el elemento que más influye en el rendimiento agrícola del tomate sobre todo si se trata de un suelo con elevados tenores de P₂O₅ y K₂O y bajos contenidos de materia orgánica como el caso del suelo Ferralítico Rojo estudiado. Similar resultado obtuvo Grela (1991) en un suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillento quien atribuyó este comportamiento al efecto que la fertilización nitrogenada ejerció de forma directa y positiva sobre el rendimiento total en el cultivo del tomate.

En relación con la fertilización nitrogenada del cultivo del tomate, al estudiar diferentes niveles en un suelo Ferralítico Rojo enriquecido con fósforo y potasio, Da Costa (1994) encontró que, para la variedad Criollo Quivicán, el rendimiento se favoreció con las dosis más altas del elemento (80 - 100 kg N/ha). Por otro lado, Cuevas (1998) al evaluar diferentes relaciones internutrientes en un suelo Gley Nodular ferruginoso señaló que el número de frutos por planta y la producción del cultivo del tomate fue mayor en las combinaciones en las que estaba presente el nitrógeno. Mientras que Cardoza *et al.* (1992) en un suelo Ferralítico Rojo y con la variedad de tomate Campbell – 28 obtuvo similares resultados.

En las tablas 5, 6 y 7, se aprecia que tanto la materia seca como los restantes parámetros de calidad (NPK, Brix, Vitamina C y Nitratos) son superiores en el tratamiento correspondiente a la Urea + 15% de zeolita seguido por el de Urea + 20% de zeolita, en los tres años de investigación, observándose un comportamiento general similar al obtenido con el rendimiento, esta respuesta puede estar asociada al efecto de liberación lenta del nitrógeno por parte de la zeolita.

Por otro lado los contenidos de Brix se encuentran dentro de los rangos establecidos por Onsuná (1983), Cuartero y Fernández (1996) y Santiago *et al.* (1998) quienes recomiendan como valores adecuados aquellos que están por encima del 4 %, siendo el tratamiento de urea más 15% de zeolita el que brindó valores significativamente superiores a las demás variables en los tres años. Este índice juega un papel decisivo en el sabor del fruto destinado a su consumo fresco.

Al analizar los contenidos de vitamina C de los frutos de las plantas que recibieron Urea + 15 y 20% de zeolita, estas presentan una mayor eficiencia del nitrógeno en los tres años, mostrando incrementos significativos con respecto a la Urea comercial excepto en el tercer año, esto pudiera tenerse en cuenta para mejorar la calidad de los frutos y dotarlos de un mejor sabor.

Los valores de vitamina C, se encuentran entre 27.00 - 34.00 mg A.A, en relación con este indicador Morales *et al.* (1996) plantea que el tomate no posee altos contenidos de la misma y otros autores coinciden en afirmar que este es uno de los componentes de la calidad interna del fruto que más varía según la variedad, el clima y la localidad.

En este sentido Grela (1991) demostró que la cantidad de nitrógeno añadido al suelo contribuye a mejorar el contenido de vitamina C y los sólidos solubles totales presentes en los frutos. Los mayores valores de brix y ácido ascórbico, así como la menor acidez los obtuvo con la dosis más alta de nitrógeno.

En relación con los contenidos de nitratos (tablas 5, 6 y 7) reflejan que estos están presentes en los frutos de tomate en el momento de la cosecha, a pesar de que los valores estuvieron por debajo del límite permisible de 150 mg/kg de fruto, según lo establecido por García-Roche y Grillo (1991) para el tomate que se cultiva a campo abierto en las condiciones de Cuba, las variantes con zeolita muestran valores significativamente inferiores a los presentados por el tratamiento con Urea comercial el que muestra valores de nitratos entre 100 y 113 mg/kg de fruto.

Estos resultados sugieren que la aplicación combinada de urea más zeolita natural puede contribuir, también, a la reducción de los nitratos en los frutos de tomate, debido fundamentalmente a la utilización de menores cantidades de fertilizantes nitrogenados.

Es importante destacar que los contenidos de nitrato disminuyeron en los tratamientos donde se aplicó la urea modificada con respecto a la fertilización nitrogenada, comportamiento que se asocia con las estables dimensiones de los poros y canales de la zeolita, por tanto solo iones, moléculas y aún biota de tamaño definido, les es permitidos entrar en la zeolita, además de la selectividad del ión intercambiable y el efecto de los elementos de liberación lenta, también ha sido considerado para explicar la protección del amonio sorbido contra la nitrificación (Uren and Zhu Qi Qing 1997).

Los contenidos de nitratos constituyen hoy en día una problemática de actualidad para los vegetales que se consumen en estado fresco y que se someten a aplicaciones inadecuadas de fertilizantes nitrogenados. El empleo de la zeolita natural como alternativa en la nutrición integrada de los cultivos, pueden contribuir a su reducción, siempre y cuando se encuentren dentro de los límites permisibles que se recomiendan para cada especie.

Tabla 5. Efecto de la urea mezclada con zeolita en la composición bromatológica del fruto del tomate. Primer año.

<i>Tratamientos</i>	<i>M.S.(%)</i>	<i>%</i>			<i>BRIX %</i>	<i>Vit. C mg. A.A.</i>	<i>NO3 mg.kg1</i>
		N	P	K			
<i>OPK</i>	2.60c	2.17c	0.31c	2.92d	3.07d	28.84c	58.25c
<i>PK + Urea comercial</i>	5.07b	3.37b	0.47ab	4.35c	4.94b	31.50b	100.00a
<i>PK + Urea + 15% de zeolita</i>	6.47a	4.04a	0.56a	5.04a	5.90a	34.00a	74.25b
<i>PK + Urea 20% de zeolita</i>	6.27a	4.05a	0.51a	4.76ab	4.94b	33.32a	73.50b
<i>PK + Urea + 30% de zeolita</i>	4.76b	3.10b	0.37bc	4.57bc	4.60c	31.11b	69.25b
<i>Esx+</i>	0.121**	0.106**	0.033**	0.113**	0.070**	0.362**	1.979**
<i>C. V.(%)</i>	4.987	6.512	14.86	5.231	2.998	2.279	4.811

a, b, c, d,... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$ de acuerdo con la prueba del Rango Múltiple de Duncan.

Tabla 6 Efecto de la urea mezclada con zeolita en la composición bromatológica del fruto del tomate. Segundo año.

<i>Tratamientos</i>	<i>M.S.(%)</i>	<i>%</i>			<i>BRIX %</i>	<i>Vit. C mg. A.A.</i>	<i>NO3 mg.kg1</i>
		N	P	K			
<i>OPK</i>	2.53c	2.04d	0.32d	2.70c	3.12d	27.44c	60.25c
<i>PK + Urea comercial</i>	4.93b	3.44b	0.46bc	4.22b	4.82b	30.70b	113.50a
<i>PK + Urea + 15% de zeolita</i>	6.22a	4.09a	0.59a	4.99a	5.61a	33.55a	73.00b
<i>PK + Urea 20% de zeolita</i>	6.15a	4.00a	0.54ab	4.82a	4.87b	32.77a	72.25b
<i>PK + Urea + 30% de zeolita</i>	4.41b	3.16c	0.39cd	3.82b	4.34c	30.49b	69.25b
<i>Esx+</i>	0.176**	0.081**	0.033**	0.130**	0.102**	0.316**	1.784**
<i>C. V.(%)</i>	7.554	4.909	14.447	6.345	4.458	2.037	4.369

a, b, c, d,... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$ de acuerdo con la prueba del Rango Múltiple de Duncan.

Tabla 7. Efecto de la urea mezclada con zeolita en la composición bromatológica del fruto del tomate. Tercer año.

<i>Tratamientos</i>	<i>M.S.(%)</i>	<i>%</i>			<i>BRIX %</i>	<i>Vit. C mg. A.A.</i>	<i>NO3 mg.kg1</i>
		N	P	K			
<i>OPK</i>	4.28d	2.27c	0.35c	3.75c	3.35c	32.81	77.85b
<i>PK + Urea comercial</i>	5.26b	3.30b	0.48a	4.19b	5.16b	33.31	106.00a
<i>PK + Urea + 15% de zeolita</i>	6.65a	4.05a	0.59a	5.08a	5.90a	34.47	73.00b
<i>PK + Urea 20% de zeolita</i>	6.45a	4.00a	0.52b	4.79a	5.19b	33.33	74.00b
<i>PK + Urea + 30% de zeolita</i>	4.56c	3.09b	0.42b	4.00b	5.08b	32.18	70.00b
<i>Esx+</i>	0.440**	0.270**	0.050**	0.590**	0.710**	NS	5.55**
<i>C. V.(%)</i>	8.74	8.90	8.15	9.17	10.33	10.48	6.58

a, b, c, d,... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$ de acuerdo con la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

En relación con los tenores de N, P y K en el fruto (tablas 5, 6 y 7), para el caso del nitrógeno se obtuvo que la aplicación de urea + zeolita al 15 y 20 % respectivamente incrementó significativamente el contenido del elemento en las hojas de las plantas con relación a la dosis de Urea comercial. El contenido de fósforo presentó diferencias significativas entre los tratamientos estudiados y los mayores porcentajes correspondieron al potasio.

Efecto de la urea mezclada con zeolita sobre los contenidos foliares N P K

Durante los tres años de investigación, así como su media, se observó en general que los % foliares de N P K son mayores en la variante de Urea modificada con 15% de zeolita, con diferencias significativas con respecto a las restantes, (tabla 8). Para el caso del nitrógeno se obtuvo que las aplicaciones de urea + zeolita al 15% es el que mayor

contenido presenta de forma significativa, seguido por la mezcla de urea + 20 %, ambos incrementaron significativamente los contenidos del elemento en las hojas de las plantas en comparación con el tratamiento de Urea comercial y la mezcla de urea + 30% de zeolita, el mismo efecto se observó para los contenidos de potasio y fósforo.

La aplicación de zeolita influyó de manera positiva en la absorción de nitrógeno y potasio. Estos resultados avalan los efectos del intercambio catiónico de la zeolita, así como la selectividad por ambos cationes en la producción del cultivo, que se traduce en un mejor estado nutricional de la planta y en un incremento del rendimiento.

Lo antes planteado puede deberse a la eficiencia que adquiere la Urea, al ser modificada por la zeolita, la cual le confiere características de fertilizante de liberación lenta, cediéndolo paulatinamente y en correspondencia con el contenido de este nutriente en el suelo, de acuerdo a la ley de equilibrio para el intercambio iónico (Groffman *et al.* 1992; Boettinger *et al.* 1997); mientras que para Mumpton (1999), la zeolita es capaz de intercambiar amonio y potasio, tanto del fertilizante como del suelo y entregarlo gradualmente

Tabla 8. Efecto de la urea mezclada con zeolita en los contenidos foliares del tomate

Tratamientos	1er año			2do año			3er año			X de 3 años		
	N%	P%	K%	N%	P%	K%	N%	P%	K%	N%	P%	K%
OPK	2.54e	0.34c	3.38d	2.46d	0.34c	3.32d	2.54e	0.33d	3.34d	2.49e	0.34d	3.35e
PK + Urea comercial	4.51c	0.43b	5.19b	4.34c	0.42b	5.11b	4.36c	0.41c	5.06c	4.41c	0.42c	5.11c
PK+ Urea +15%de zeolita	5.74a	0.57a	5.99a	5.51a	0.57a	5.72a	5.64a	0.55a	6.04a	5.63a	0.56a	5.91a
PK+ Urea +20%de zeolita	5.29b	0.48b	5.40b	5.00b	0.53ab	5.23b	5.22b	0.47b	5.50b	5.17b	0.47b	5.37b
PK+ Urea +30%de zeolita	4.21d	0.42b	4.70c	4.13c	0.42b	4.59c	4.11d	0.40c	4.69c	4.15d	0.41c	4.66d
Esx +	0.081**	0.020**	0.098**	0.069**	0.020**	0.101**	0.060**	0.014**	0.139**	0.046**	0.006**	0.060**
Cv(%)	4.165	9.441	4.336	3.710	9.717	4.546	3.146	7.118	6.195	2.067	2.397	2.324

a, b, c, d,.... Medias dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre si para P <0,05 de acuerdo con la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

En relación con los contenidos de nutrientes en la hojas, Silva (1989) y Bennett (1996) en estudios con niveles de Nitrógeno, encontraron que los contenidos foliares en el cultivo del tomate correspondientes a 3 - 5 %; 0.70 - 1.30 % y 3.16 - 6 % de N, P y K respectivamente son adecuados para el tomate en ensayos de campo, rangos que se corresponden con los contenidos de N y K encontrados en el presente estudio, no siendo así para el P debido a que los contenidos de este elemento fueron algo menores en dicho ensayo.

4.3.1. Efecto de la urea mezclada con zeolita en la exportación de NPK por el tomate en condiciones de campo.

Hubo una respuesta positiva a las aplicaciones de urea más zeolita en lo que a extracción de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio se refiere (Tablas 9a, 9b y 9c) siendo significativamente influenciada por dichas mezclas en diferentes porcentajes, la mayor extracción le correspondió a la variante de urea más 15% de zeolita, seguida de aquella en la que se aplicó urea más 20% de zeolita. En todos los tratamientos estudiados, el orden de extracción fue potasio > nitrógeno > fósforo. En los tres años se observa el mismo comportamiento.

La correspondencia de las extracciones de fósforo y potasio con el aumento de la eficiencia del nitrógeno puede explicarse, entre otros factores, por el hecho que el nitrógeno provoca el aumento de la capacidad de cambio catiónico de las raíces y con ello la absorción de otros elementos (Susai y Loganathan, 1975), además al obtener mayor desarrollo vegetativo con el aumento de la eficiencia del nitrógeno se incrementan los requerimientos de fósforo y potasio por las plantas.

Tabla 9a. Coeficiente de Aprovechamiento y Eficiencia Agronómica de los tratamientos de urea mezclada con zeolita.

Tratamientos	1er año					
	Rdto t/ha	Exportación kg./ha			Coef. Aprov. Aparente del Fert (%)	Efic. Agro. kg fruto/kg Fert.
		N	P	K		
PK + Urea comercial	20.43	36.7	4.63	42.5	-	-
<i>PK+ Urea +15% de zeolita</i>	26.78	68.1	9.83	83.1	37.04	74.7
<i>PK+ Urea +20% de zeolita</i>	25.94	64.5	8.71	77.8	34.75	68.9
<i>PK+ U0.50rea +30%de zeolita</i>	18.30	25.5	3.15	30.8	-	-

Tabla 9b. Coeficiente de Aprovechamiento y Eficiencia Agronómica de los tratamientos de urea mezclada con zeolita.

Tratamientos	2do año					
	Rdto t/ha	Exportación kg./ha			Coef. Aprov. Aparente del Fert (%)	Efic. Agro. kg fruto/kg Fert.
		N	P	K		
PK + Urea comercial	23.29	40.4	5.9	65.6	-	-
<i>PK+ Urea +15% de zeolita</i>	30.80	83.0	12.1	104	50.12	88.35
<i>PK+ Urea +20% de zeolita</i>	26.00	67.1	8.72	80.3	33.38	33.88
<i>PK+ U0.50rea +30%de zeolita</i>	21.23	29.9	4.16	38.7	-	-

Tabla 9c. Coeficiente de Aprovechamiento y Eficiencia Agronómica de los tratamientos de urea mezclada con zeolita.

Tratamientos	3er año					
	Rdto t/ha	Exportación kg./ha			Coef. Aprov. Aparente del Fert (%)	Efic. Agro. kg fruto/kg Fert.
		N	P	K		
PK + Urea comercial	24.70	42.2	5.9	54.5	-	-
<i>PK+ Urea +15% de zeolita</i>	32.53	85.0	11.8	106	42.83	92.12
<i>PK+ Urea +20% de zeolita</i>	26.43	67.1	8.45	78.9	24.92	21.62
<i>PK+ U0.50rea +30%de zeolita</i>	22.53	33.1	3.95	48.8	-	-

Las extracciones fueron ligeramente superiores a las reportadas por Arzola *et al.* (1981); Guzmán (1996) y Grela (1991), en las condiciones de Cuba. Esto pudiera explicarse por el mayor aprovechamiento de la urea mezclada con zeolita que efectúa la planta y probablemente también al suministro de potasio que libera al medio la zeolita.

4.3.1.1. Determinación de los índices de aprovechamiento y eficiencia agronómica de la mezcla de urea más zeolita.

El coeficiente de aprovechamiento aparente(Tabla 9a, 9b y 9c), fue superior en las variantes donde se aplicó urea + 15% de zeolita, seguido aunque mucho menor por el de la urea + 20% de zeolita respectivamente, siendo el valor del conjunto de los tres años de 45.92 y 33.09% para ambos (Tabla 9d). Este coeficiente resultó negativo en la mezcla de urea + 30 % de zeolita. Por su parte la eficiencia agronómica del nitrógeno se presentó igualmente en orden ascendente a favor de la dosis de 15% de zeolita (85.06 kg. de frutos /kg. de fertilizante empleados) seguida por la de 20% de zeolita (39.58 kg. de frutos /kg. de fertilizante empleados), y por último también de forma negativa para la de 30% de zeolita respectivamente, las que correspondieron a las variantes 85, 80 y 70% de urea.

Tabla 9d. Coeficiente de Aprovechamiento y Eficiencia Agronómica de las exportaciones totales de los 3 años.

Tratamientos	De los 3 años			
	Rendimiento (t/ha)	Exportación kg./ha (N)	Coef. Aprov. Aparente del Fert (%)	Efic. Agro. kg fruto/kg Fert
PK + Urea comercial	68.43	119.28	-	-
PK+ Urea +15% de zeolita	90.12	236.38	45.92	85.06
PK+ Urea +20% de zeolita	77.93	198.70	33.09	39.58
PK+ U0.50rea +30%de zeolita	62.06	88.51	-	-

Para ambos índices la respuesta al tratamiento de urea más 30% de zeolita se asocia con la disminución del rendimiento, ya que al parecer la dosis correspondiente a este tratamiento fue inferior a la demandada por el cultivo, resultados similares en relación con

las reducciones de dosis de nitrógeno fueron reportados por Terry *et al.* (1998) y Hernández (2000).

Los resultados obtenidos evidencian que con el empleo de la urea mezclada con zeolita, las pérdidas de este nutriente son menores, comportamiento que puede explicarse por lo señalado por Mumpton (1999); Urquiaga y Zapata (2000) y John *et al.* (2001), en el sentido de que la sorción del amonio por la zeolita, le confiere a este portador características de fertilizantes de liberación lenta, aumentando el contenido de N al estar más cargado de amonio y poderlo ceder posteriormente de forma gradual, lo cual contribuye al aumento de la eficiencia de este nutriente.

4.4. Validación en condiciones de producción del efecto de la urea mezclada con zeolita en el cultivo del tomate.

Los resultados de la validación se muestran en las tablas 10a y 10b, donde se destaca que el comportamiento de la urea mezclada con zeolita al 15%, con respecto a la variante de producción (Urea comercial) fue superior, obteniéndose mayores rendimientos cuando se empleó dicha mezcla. Siendo el incremento de éste de 7.20 y 8.42 para un promedio de 7.81 t.ha⁻¹ de frutos de tomate respectivamente. Esto pudiera deberse en gran medida a la absorción del amonio que hace la zeolita, y en consecuencia por el aumento de la eficiencia explicada anteriormente de dicho fertilizante nitrogenado, permitiendo reducir la dosis en un 15% sin afectar los rendimientos. Resultados similares con la utilización de la zeolita combinada con fertilizantes nitrogenados en diferentes porcentajes obtuvieron Allen *et al.* (1995).

Resultados similares fueron obtenidos por Mumpton (1999) y Urquiaga y Zapata (2000). En las tablas 10a y a 10b se exponen además los valores de los parámetros de calidad, tales como: materia seca (%), Vitamina C (mg. de Acido Ascórbico), Sólidos Solubles Totales (Brix) y tenores de Nitratos (NO₃⁻ en mg/kg de frutos), donde se cumplió al igual que para los ensayos de campo que efectivamente la variante de urea más 15% de zeolita superó con creces a la variante de producción o testigo con Urea comercial, destacándose

por supuesto una reducción en el contenido de nitratos a favor de la variante nueva o propuesta.

Estos resultados corroboran los obtenidos por Hernández (2000) en relación con los efectos sobre la calidad del fruto del tomate de la reducción de las dosis de urea.

Tabla 10a. Validación de los resultados de la urea mezclada con zeolita en condiciones de producción (1996-1997).

TRATAMIENTOS	Rendimiento <i>t.ha⁻¹</i>	Incremento <i>t.ha⁻¹</i>	M. Sec a (%)	Vit c (mgA.A)	BRIX (%)	NO₃ (mg/kg)
VAR. Producción (Urea comercial)	23.50	-	5.80	20.58	5.2	98
VAR. Nueva (Urea + 15 % de Zeolita)	30.70	7.20	7.05	23.32	5.6	84

Tabla 10b. Validación de los resultados de la urea mezclada con zeolita en condiciones de producción (1997-1998).

TRATAMIENTOS	Rendimiento <i>t.ha⁻¹</i>	Incremento <i>t.ha⁻¹</i>	M. Sec a (%)	Vit c (mgA.A)	BRIX (%)	NO₃ (mg/kg)
VAR. Producción (Urea comercial)	24. 80	-	6.00	21,67	5,3	106
VAR. Nueva (Urea + 15 % de Zeolita)	33,22	8,42	7,15	25, 90	5,9	86

4.5. Evaluación económica

Los resultados de la valoración económica se muestran en la Tabla 11 (conjunto de los dos años), los cuales reflejan que en el tratamiento donde se utilizó zeolita natural se puede reducir la dosis de fertilizantes hasta un 15%, obteniéndose mayores beneficios netos que en el tratamiento testigo, debido en primer lugar al incremento de los rendimientos y en segundo lugar, aunque de forma discreta, a la disminución de los costos de producción, presentando una cifra de la relación Valor/Costo de 12,61, lo que indica que por cada peso invertido se obtiene un beneficio de 12,61 pesos, mientras que la variante de producción presentó una relación Valor/Costo de 9,51.

Tabla 11. Evaluación económica de la validación en la producción, con la variedad de tomate *Campbell-28*.

TRATAMIENTOS	Rdto (t.ha⁻¹)	Valor Prop. (\$/ha⁻¹)	Costos (\$/ha⁻¹)	Beneficio	Ahorro de Urea (kg.t⁻¹)	Relación Valor/Costo
VAR. Producción (Urea comercial)	24.15	8211	863	7348	-	9.51
VAR. Nueva (Urea + 15 % de Zeolita)	31.96	10866	857	10009	326	12,61

Estos resultados de la variante urea + 15% de zeolita, se corresponden con los resultados agronómicos, corroborándose el efecto beneficioso del uso de la zeolita natural como aditivo de la Urea comercial, en el cultivo del tomate, lo que posibilita además poder disponer de productos agrícolas más sanos, alcanzar un mayor beneficio monetario, disminución del consumo de fertilizantes químicos, y finalmente poder hacer más ecológico y sostenible el sistema agrícola.

V. CONCLUSIONES.

- Se demuestra una mayor eficiencia de las formas de nitrógeno en el suelo Ferralítico Rojo en la medida que se incrementa el porcentaje de zeolita en las mezclas con la urea.
- Las variantes donde se empleó la urea mezclada con zeolita en diferentes porcentajes, presentan las menores pérdidas del nitrógeno del fertilizante.
- Igualmente el menor valor de nitrógeno volatilizado acumulado en 35 días, corresponde al tratamiento de urea mezclada con zeolita al 30%.
- El impacto mayor sobre la materia seca y su extracción de N y K en el ensayo en condiciones controladas y sobre el rendimiento y sus componentes durante los 3 años que duró el ensayo de campo, lo tiene la variante con la aplicación de la mezcla de urea con el 15% de zeolita equivalente a la sustitución del 15% del nitrógeno del fertilizante.
- La peor variante, desde el punto de vista agronómico, de las mezclas de urea con zeolita fue la del 30% de esta última, reflejadas en los valores más bajos de los rendimientos y sus componentes, muy similares a los obtenidos para el testigo con Urea comercial, ocurriendo lo mismo con sus parámetros de calidad (% de MS, N, P, K y Brix así como los mg. A. A.) para el fruto, siendo los más bajos encontrados, excepto el contenido de nitrato que es significativamente inferior al del testigo.
- El mayor aprovechamiento del fertilizante y su eficiencia agronómica igualmente lo fue para la variante del 15% de zeolita mezclada a la urea, siendo sus valores de 45.92 % y 85,06 Kg. de frutos/kg de fertilizantes respectivamente, superando a los obtenidos para la variante de la mezcla de urea + 20% zeolita que reporta 33.09 % y 39.58 Kg. de frutos/kg de fertilizantes respectivamente; siendo negativas ambos índices para la variante de la mezcla de urea + 30 % de zeolita.

- La validación en condiciones de producción, ejecutada en La Empresa de Cultivos varios 19 de Abril, demuestra que la variante propuesta (mezcla de urea con el 15% de zeolita), sobrepasó a la variante de producción en 7,80 t/ha de rendimiento, valor que arroja un beneficio económico equivalente a 2652 pesos por hectárea, para un valor de la relación Valor /Costo de 12,61.

VI. RECOMENDACIONES

- Recomendar el uso generalizado de la mezcla de urea con zeolita al 15% por ser la más eficiente desde el punto de vista económico y ecológico.
- Profundizar en el efecto mejorador de la urea modificada por la zeolita sobre las propiedades del suelo y la variación que pudiera presentarse del intercambio iónico que produce la zeolita en la relación suelo – planta.
- Profundizar en el conocimiento del impacto ambiental favorable que produce las mezclas de la zeolita con los fertilizantes, sobre el suelo, el agua y la atmósfera.
- Utilizar los resultados obtenidos en las investigaciones que dieron origen a esta tesis para la docencia a diferentes instancias.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Alberti, A. S.; Vezzalini, G.; Galli, E.; Quartieri, S. The crystal structure: Can. Miner. 32, 855-863. (1996).
- Alfonso, C.A.; Monederos Milagros; Calero, B.; Guerrero Anaely y Somoza, V . Impacto del trabajo del hombre sobre la calidad global de un suelo Ferralítico Rojo (Ferralsol) de Cuba. Presentado al 1er Congreso de Conservación, Manejo y Gestión de Suelos en Cuencas Hidrográficas, junio. (1999).
- Aldrich, S.R. Nitrogen in relation to food, environment and energy. Illinois Agricultural Experimental Station. College of Agriculture. University of Illinois at Urbana Champaign, 173 – 232. (special publication 61). (1980).
- Adjanohoun, A. Nutrición y fertilización del tomate (*Lycopersicon sculentum*, Mill), bajo Fertirrigación con Nitrógeno y Potasio por goteo en un suelo Ferralítico Rojo. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. INCA. 155 p. (1996).
- Allen, E. R.; Hossmer, L. R.; Ming, D.W.; Henninger, D.L. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures: Soil Science Society of America Journal, 57, 1368-1374. (1993)
- Allen, E.R ; Ming D.W. Recent progress in the use of natural Zeolites in agronomy and horticulture. In natural Zeolites 93. Occurrence, Properties, Use D.W Ming and F.A Mumpton Eds, Int. Committee on natural Zeolites Press, Brockport, New York, U.S.E, 447-490. (1995).
- Allen, E.R.; Ming, D.W.; Hossner, L. R.; Henninger, D.L.; Galindo, C. Growth and nutrient uptake of wheat in clinoptilolite and phosphate rock substrates: Agronomy Journal, 87, 1053-1059. (1995)
- Ames, L. L. Cation Sieve Properties of clinoptilolite: Amer. Mineral 45, 689-700. (1960).
- Androsikashvili, T.G. ; Kardava, M. A. ; Gamisonia, M.A. Effect of natural Zeolites on microbe landscape of some soils in Giogia. In Abstracts Sofia Zeolite Meeting 95. Internacional Simposium and Exhibition on natural zeolites, Sofía, Bulgaria, June 18-25, . 95-96. (1995)
- Arias, E. ; Moreno, E.; Soca, M.; Febles, J. A.; Gil, R. y John, C.M. Evaluación de fertilizantes minerales mezclados con zeolita natural y zeolita amónica, obtenida de

residuales industriales. Publicaciones Integ.III Conferencia Internacional de Zeolita, Ciudad Habana; Cuba. 79-82. (1991).

- Arzola, N., O. Fundora y J. Machado de Armás. (Suelo, planta y abonado.-- La Habana :Editorial Pueblo y Educación,.—461 p. 1981).
- Bedelea Calancea, L. ; Corpadea, V. ; Calb, I. ; Bedelea, H. ; Pop, D. Use pf Zeolitic volcanic tuffs from transylvania (Romania) in agriculture crop growing and animal raising .In Zeolite 97. 5th Int. Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of natural Zeolites Sept 21-29,1997. Ischia (Naples),Italy Book of Abstracts,in press. (1997)
- Biart Marylin; Dueñas Graciela; Molina, J. y Chog. Contaminación con nitratos y balance de N. en cultivos de importancia agrícola, cultivados a diferentes niveles de N. En: Proceedings del XV Congreso Latinoamericano de La Ciencia del Suelo. Boletín No 4. En CD.ROM. (2001).
- Bartholomew, W. Y. El nitrógeno en el suelo. Boletín técnico N° 6. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. 97 p. (1972)
- Bennett, F. W. Nutrient, deficiencies and toxicities in crop plants.—USA: American Phytopathological Society. 202 p. (1996).
- Black, C. A. Relaciones suelo- planta. Tomo II. Editorial Hemisferio Sur, S. R. L. Argentina, 431p. (1975).
- Casanova, A. y J. R. Savón. Producción biointensiva de hortalizas. Agricultura Orgánica 1(3):13-16. (1995).
- Cardoza, H.; Chailloux, M. ; González, M. Influencia de la fertilización mineral NPK sobre los rendimientos de frutos y semillas de tomate variedad Campbell 28 sobre suelos Ferralíticos Rojos compactados con altos contenidos de p.y K. **En:** VIII Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes. La Habana,.p. 67. (1992).
- Challoux, M.; Cardoza, H.; del Vallin, G.; Naranjo, M.; Hernández, S. Fertilización del tomate con fórmula completa enriquecida con zeolita. Resúmenes Evento Científico "Producción de cultivos en condiciones tropicales". Ciudad de la Habana, Cuba,. p. 43. (1997).

- Chakalov, K. ; Dimitrov, K. ; Todorka, P. Organoclinoptilolite composts as substrate and soil conditioners for growing ecologically clean vegetables In Abstracts Sofia Zeolite Meeting 95, International Symposium and Exhibition on natural Zeolites, Sofia, Bulgaria, June 18-25,1995, 100 -101. (1995)
- Clapp, C. E. ; Larson, W. E. ; Dowdey, R. H. Sewage Sludge land utilization and environmental S. S. A. Publicación Madison, 137-148. (1994).
- Cuartero, J. y Fernández R. Calidad de las hortalizas para consumo en fresco. **HF- Horto Información** (78):34-38. (1996).
- Dueñas, G. Utilización del análisis del nitrógeno del suelo como método para la elaboración de recomendaciones de fertilización nitrogenada a un cultivo de importancia económica. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelos, La Habana, 100 p. (1997).
- Duncan, D. Multiple range and Multiple F Test. Biometric 1-8 , 11-12.
- Eyde, Th. (1992). Using zeolites in the recovery of gevi metals from mining effluents: The Minerals Metals & Materials Society. 384-392. (1954).
- FAO Los fertilizantes y su empleo. Guía de bolsillos para los extensionistas.Tercera edición. Roma. 54 p. (1980).
- FAO. Anuario de producción. 44 p. (1993)
- FAO. Anuario de producción. 43 p. (1995).
- Fassbender, H. W. Química de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, 398 p. (1985).
- Febles, J. ; Soca, M. ; John, C. M. ; Moreno, E. Efecto de la zeolita natural en el mejoramiento de un suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado medianamente erosionado. En Memorias del XII Congreso Latinoamericano y II Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba. IV, 1048-1051. (1993).
- Fenn, L.B. and Escarzaga, RAmmonium volatilization from surface application of ammonium compost of calcareous soils: V. Soils Water Content and methods of nitrogen application. Soil Scince Society of America Journal. 40, 537 – 541. . (1976)
- Fenn, L.B. and Kissel D.E. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compost, applied calcareous soils. Soil Scince Society of America Journal. 40, 94 -398. (1976).

- Ferguson , G. A. ; Pepper, I. L.; Kneebone,W. R.. Growth of creeping bentgrass on a new medium for turfgrass growth: Clinoptilolite zeolite –amended sand : Agron. J. 78 , 1095-1098. (1986)
- Ferguson, A. A.y Pepper, I. Ammonium retention in soil with clinoptilolite. Soil Science Society of America Journal 5, 231-234. .(1987).
- Filipan, T. ; Binc, S. ; Cerjan-Stefanovic, S.; Butorac, A. Research on and development of methods for the reduction of ammonium: in Proc. International Conference. On Environmental Pollution Science-Policy-Engineer Center for Pollution Research, London, 298-302. (1993).
- Galarneau, A. ; Di Renzo, F.; Fajula, F. Zeolites and Mesoporous materials at the Dawn of the 21st century. Proceeding of the 13 th International Zeolite conference, Montpellier, 8-13 July ISBN:0 -444-50238-6, ISSN: 0167-2991, 443-444. (2001)
- García Roche, M. O. y M Grillo. Límites de residuos permisibles de nitratos en los productos vegetales de Cuba. Revista CNIC Ciencias Biológicas 22 (1-2): 95-97. (1991).
- Gómez, O.; Casanova, A.; Laterrat, H.; Anais, G. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova. La Habana, 159p. (2000)
- Grela Maria. F. Plantas por nido y fertilización nitrogenada del tomate en los suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillos.--1991.—168 p. Tesis (Doctor en ciencias agrícolas).—INCA. (1991).
- González, A.; O. Rodríguez; Hortensia Cardoza; A. Lorenzo y J. Padrón. Estudio de niveles de N, P₂O₅ y K₂O en el cultivo del tomate variedad Campbell 28. En: II Seminario Científico Técnico de la Estación Experimental “La Renee” Programa y Resúmenes.—La Habana,—p. 87. (1984).
- Groffman, A.; Peterson, S. and Brookins, D. Removing lead from wastewater using zeolite. Water Environment & Technology, Alexandria, Va, v.4, n.5, p. 54-59. . (1992).
- Gworek, B.; Borowiak , M.; Kwapisz J, Effect of zeolite-bearing rocks upon inactivation of heavy metals in soils in Zeolite 97, 5th int, Conference on the Occurrence, Properties, and utilization of natural zeolites. Sept. 21-29, ISCHIA (NAPLES), Italy. Book of abstracts in press. (1997).
- Guzmán, T. J. Nuevos enfoques agroecológicos. La sostenibilidad como vía alternativa

en el desarrollo agrícola de las unidades agrícolas de producción. En: INIFAT. Curso taller “ Gestión medio ambiental del desarrollo rural”.-- Cuba: INIFAT,.— 5-29. (1996).

- Hernández, M. I. Las Micorizas Arbusculares y las bacterias rizoféricas como complemento en la nutrición del tomate. Tesis presentada n opción al título académico de Maestro en Ciencias en Nutrición de las plantas y Biofertilizantes. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova "La Habana, 82 p. (2000).
- Instituto de Suelos. Manual de técnicas analíticas, MINAGRI. La Habana, 150 p. (1994).
- Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba AGRINFOR, MINAGRI, Ciudad de la Habana , 64 p. (1999).
- John Clara M.; Campos, R.; López, B.T"Influencia de la Zeolita natural en las pérdidas del nitrógeno" Quimindustria 88, 120-123. . (1988).
- John Clara M.; Del Vallín Gldys y Sotolongo Jacqueline. Efecto de la aplicación de urea mezclada con zeolita en los rendimientos del tomate, pimiento y ajo, en un Suelo Ferralítico Rojo Compactado. Resúmenes XI Seminario Científico del INCA, Ciudad de La Habana, Cuba, 207-208. (1998).
- John Clara M ; Marrero Virginia ; Del Vallín Gladys; Muñiz, O. ; Beltrán, R. ; Sotolongo Jacqueline; Gil, R ; Delgado, N. ; Chong, D. Generalización del empleo de la zeolita como aditivo de la urea en cultivos de importancia económica. Producción de cultivos en condiciones tropicales. ISDN 959-7111-04-7, 193-195. (1998).
- John Clara M.; Del Vallín Gladys; Sotolongo Jacqueline, J. ; Duñas, G. ; Martel C. Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea en Solanáceas. Resúmenes XII Seminario Científico del INCA, Ciudad de la Habana, Cuba, 125-126. (2000).
- John Clara M.; Del Vallin Gladys; Dueñas Graciela. Eficiencia de la Zeolita como aditivo de la urea en los cultivos de papa y tomate tropicales. ISSN 1607-6271, 143-156. (2001).
- Laurent, G.C.; Lazzari, M.A. y Victoria, R.L. Balance del nitrógeno del fertilizante aplicado al trigo en dos épocas diferentes. Rev. Ciencias del Suelo. 14/ 7-11. (1996).
- Leggo P. JExperiments with weath (Triticum aestivun): an investigation on plant growth in an organo-zeolitic substrate. In Zeolitie `97. 5th Int. Conference on the ocurrence ,properties and Utilization of Natural Zeolites . Sept. 21-29, 1997.Ischia (Naples),Italy. Book of Abstracts, in press. (1997)
- Lee, L.K.; Rucel, H.; Ruthoven, D.M. A.C.S. Symp. Ser. 40, 417 p.

- López, B.T (1984). Balance del nitrógeno en algunos suelos de Cuba” referencia de tesis en opción al grado científico de candidato a doctor en ciencias Agrícolas, INCA, Cuba, 127 p. (1977).
- Maestrey, A., ; Cardoza, H. ; Tremols, J. ; Gómez, R. Extracción de nutrientes por el tomate cultivado en primavera I. Variaciones de las concentraciones de N, p.y K durante el ciclo del cultivo. Ciencia y Técnica en la Agricultura. Suelos y Agroquímica 10-2, 7-16. (1987).
- Malavolta, E. Pesquisa com nitrogenio no brasil- Passado, Presente e perspectiva in: Simposio Brasileiro sobre nitrogenio em planta. I., 1990, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro... UFRRJ. (1993).
- Malherbe, R. Física Química de la zeolita. CENIC. MES. 293 p. (1998).
- Martínez, R. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo.--Cuba:Editorial Científico Técnica, 166 p. (1986).
- Meneev, V. G. ; Paniskina, V. O. ; Cheniaga, V. Y. ; Khim Selsk Khoz 5, pp. 50-52. (1988).
- Menezes dos Santos, J Producción de tomate en América Latina y el Caribe. **En:** FAO. Producción, Postcosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate.-- Santiago de Chile:FAO,-- 73-215. . (1992).
- Mesa, A., A. Casanova y P. L. Quintero. La rotación de los cultivos en los sistemas de agricultura sostenible. **En:** II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y Mesas Redondas.—Villa Clara, .—p 27. (1995).
- Milán. Z. Tratamiento de aguas residuales mediante zeolitas naturales. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Químicas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana, 113 p. (2000)
- MINAGRI. Resumen del dictamen de las comisiones de trabajo que revisará la tecnología de los cultivos de viandas y hortalizas en la Habana. La Habana, 41 p. (1991).
- Minagri. Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos. AGRINFOR. ISBN959-246-030-2, 145 p. (2000).
- Mineng, G. ; Lilly, J. ; Tery, D. Características de liberación lenta el N de la Isobutilendiurea y su efecto como fuente de nitrógeno para las hortalizas. Agronomy Journal , 70, 33, 434-438. (1978).

- Ming, D. W. ; Golden, D. C. And Galindo, C. Fertilization by mineral dissolution and ion exchange: Synthetic apatites and natural zeolites: Agronomy Abstracts ,American Society of Agronomy . Madison ,Wisconsin, 361-362. (1992).
- Ming D. W. ; Barta, D. J.; Golden, D. C. ,and Galindo, C. Growth and nutrient uptake of wheat in clinoptilolite/apatite substrates :Agronomy Abstracts, American Society of Agronomy .Madison, Wisconsin, 279-280. . (1993)
- Ming, D.W. and Golden, D.C. Slow-release fertilizer. US. Patent # 51437, 766-777. . (1995)
- Molina J, John, C..M. y Gil, R. Alternativas a la fertilización mineral nitrogenada: Vías para disminuir el tenor de NO_3 en la producción agrícola. Resúmenes XI Seminario Científico del INCA, Ciudad de la Habana. Cuba, 206-207. (1998).
- Molina, J.; Alfonso, C.A. y Dueñas, G. La fertilización nitrogenada y su impacto en el medio ambiente. XII Seminario Científico del INCA, II Taller de Sistemas integrados de nutrición de las plantas. Ciudad de la Habana, Cuba, p.123. . (2000).
- Morales, C.; Shagarodsky, T.; Reynaldo Ines; Álvarez Martha; Moya, C.; Martínez; Pérez, S.; Ortiz Ursula y Rodríguez J. Caracterización de cultivares foráneos de tomate durante dos años. **Cultivos Tropicales** 17(1):54-59, (1996).
- Moreno, E.; del Vallín, G.; Gil, R.; Pascual, J.; Arias, E. y Rodríguez, R. Inclusión de la zeolita en los fertilizantes mezclados. Resúmenes Evento Científico "Producción de cultivos en condiciones tropicales". Ciudad de la Habana, Cuba, p. 41. (1997).
- Mumpton, F.A. La Roca mágica: uses of natural zeolites in agriculture and industry, 96, 3463-3470. (1999)
- Nikashina V. A., Senova, I.B. and Rudenko B. A. Recovery of metal pollutants from the soils and silts by ferro-magnetic natural and synthetic zeolites. In Zeolite '97. 5th. Int. Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites . Sept. 21-29, 1997. Ischia (Naples), Italy. Book of Abstracts , in press. (1997).
- Nommik, H , Assessment of volatilization loss of Ammonia from surface applied urea on forestal soil by ^{15}N recovery. Plant and soil 38 (3) , 589-603. (1973)
- Onsuna, J. A. (1983). Resultados de la investigación sobre tomate para uso industrial en el estado de Morellos.—México: Secretaria de agricultura y Recursos Hidráulicos,.—16 p.

- Pansini, M. Natural zeolite as cation exchangers for environment protection. Dipartimento de Ingegneria dei Materiali e della Produzione. Universita "Federico II" di Napoli, Italy, . 3-10. (1996).
- Pasternak, P. S ; Smolianinov, I. I.; Esenciales problemas de la fertilización de los suelos forestales (en ruso) Agrochimica 6, 76-88. (1974).
- Rodríguez, R. Propiedades Físico-Químicas y aplicaciones industriales de la clinoptilolita natural. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Físicas CENIC, Ciudad de la Habana, 231p. (1987).
- Santiago, J., M. Mendoza y F. Borrero. Evaluación del tomate en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana 9(1): 59-65. . (1998).
- Sherman, J.D. Ion exchange separations with molecular sieve zeolites . In: AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Adsorption and ion exchange separations. New York, 1978. 125 p. (Aiche Symposium series, v. 74, n. 179). (1978).
- Sherman, J.D. Ion exchange separations with molecular sieve zeolites. In: NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE ON ZEOLITES. Zeolites: science and technology. Boston. (Nato Advanced Study Institute Series – Ser. E- applied science, n. 80). (1984).
- Silva, A. A. (Distúrbios nutricionais em tomateiro excesso e deficiência de nutrientes prejudicam a cultura. Agropecuaria Catarinense 2(2):41-46. 1989).
- Soca, M. Febles, J.A. John, C.M. Natural zeolite influence for chemical improvement and losses reduction of nitrogen volatilization in sandy soils. Proceeding 9th international zeolite conference. Amsterdam. Holanda. 10-14 y 161-162. .(1988)
- Soca, M. ; Ruíz, R.; Beltrán, R.; Reina, A.; Febles, J.; Arias, E.; John, C. M. y Moreno, E. Utilización de zeolitas naturales en diferentes suelos, cultivos y como vía de incrementar la eficiencia de los fertilizantes minerales. Publicado Integ. III Conferencia Internacional de Zeolita, Ciudad de la Habana, Cuba, 55-61. (1991).
- Suwardi Itsuo Goto Application of Indonesian natural zeolite for improving production and upland crops. In Zeolite '97 . 5th Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites. Sept. 21-29, 1997. Ischia (Naples), Italy Book of Abstracts, in press. (1997).
- Susai, A. ; Krishnamoorthy, P. and Loganathan, S. Uptake of nutrient elements in certain crops as influenced by root cation exchange capacity. Mysore Journ. Agri.Sci. (9) 4.

(1975).

- Tamietti, G. ; Boero V. ; Franchini-Angela, M. Effects of Tufo Giallo Napoletano on the Populations of Fusarium sp. And on the suppressive properties horticultural substrata to Fusarium wilts. In Zeolite `97. 5th Int. Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites. Sept. 21-29,1997. Ischia (Naples),Italy. Book of Abstracts,in press. (1997).
- Terman, J. C. Volatilization loss of nitrogen as ammonia from surface – applied fertilizer, organic amendments and crop residues. Advance in agronomy. 31, 189-223. (1979).
- Terry, Elein, María de los A. Pino y Nicolas Medina. Efectividad agronómica de Azofert y Ecomic en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 19(3): 33-37. (1998).
- Tsalidas, C.D.; Voulgarakis, N. ; Theophilou, N. Zeolite influence on nitrogen uptake by wheat. In Zeolite `97. 5th Int. Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites. Sept. 21-29.,1997.Ischia (Naples),Italy. Book of Abstracts in press. (1997).
- Tserling, V.V. Los nitratos en las plantas y calidad biológica de las cosechas. Agrokhimiya. 1:147-156. (1979).
- Uren, N.C. ; Zhu Qi Qing Manganese -enriched zeolites as a potential manganese source in soil. In Zeolite `97. 5th Int. Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites. Sept. 21-29,1997. Ischia (Naples),Italy. Book of Abstracts in press. (1997).
- Urquiaga S. ; Zapata, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Editorial Génesis Porto Alegre Río Grande do Sul, Brasil,. 110. p. (2000)
- Urquiaga, S.; Alves, B.J.R. y Boddy, R.M. Dinamica do N. no solo : In Simposio Brasileiro sobre nitrogenio em planta. I., 1990, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro... UFRRJ. (1993).
- Widders, I. E. y Loren, O. A. Nutrición del tomate durante su desarrollo. Journ. Amer. Soc. Hort. Sci. (9) 4. (1982).