

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA
Instituto de Investigaciones Hortícolas
"Liliana Dimitrova"

**Criterios para el manejo de la nutrición en el cultivo
protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en las
condiciones de suelo Ferralítico Rojo.**

***Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Agrícolas.***

Autora: Msc. María Isabel Hernández Díaz

Tutora: Dra. C. Marisa Chailloux Laffita

**La Habana
2009**

Agradecimientos

Quien tenga dos dedos de frente deberá comenzar por reconocer que cualquier éxito en la vida no significa sólo la recompensa por el esfuerzo personal y por las circunstancias. Estamos en la cúspide de una gran pirámide hecha de lodo, historia, solidaridad y esperanzas. Ser o no ser capaz de sensibilizarse ante esto es lo que decide el empleo que darás a tus éxitos.

Silvio Rodríguez

(Tomado de Víctor Casaus y Luis Rogelio Noguera. En: Silvio: que levante la mano la guitarra, 2007).

No quisiera abrumar con una larga lista de nombres, razones y frases, pero creo absolutamente necesario mencionar a todos a los que les debo, al menos, mi agradecimiento. Algunos de ellos ya formaban parte de mi agitado andar por la vida, a otros los conocí en el camino. Pero que más da, eso carece de importancia, todos me enseñaron que las cosas son más fáciles y que la desesperanza no tiene lugar si todas las puertas se mantienen abiertas, a todos los llevo presentes por igual y espero retribuirles con mi amistad y gratitud eterna.

A la Dra. C. Marisa Chailloux Laffita, por inculcarme principios tan elementales como la ética profesional, la voluntad de ayudar y hacer el bien, la perseverancia, la exigencia y el rigor en todo lo que se hace, poniendo en todo lo que se hace amor y sacrificio. También por acompañarme durante 15 años, por disfrutar mis éxitos, por sufrir mis problemas, por ser más que mi tutora, por ser mi amiga.

A Anselma Ojeda Veloz, puedo exponer millones de razones por las que te estaré eternamente agradecida, todos lo saben. Prefiero sólo decir que te agradezco por ser simplemente mi más preciada amiga y porque me será imposible encontrar en alguien más tanta incondicionalidad, no tengo nada más que decir, espero que entiendas que las palabras me son insuficientes.

Al ingeniero Víctor Moreno Placeres del Grupo Empresarial Frutícola, a ti te encontré en el camino, gracias por las horas de estudio que me ahorraste, por compartir conmigo tus experiencias, por ayudarme a elaborar los protocolos experimentales, por demostrar entusiasmo, alegría y disfrutar cada resultado obtenido, por haber sido siempre una prioridad para ti, por admirarme y quererme.

Al ingeniero Agustín Pérez del Grupo BM, por realizar las instalaciones necesarias para el fertirriego y garantizar su mantenimiento, por estar siempre disponible y darme la seguridad de tener en el una mano amiga e incondicional que supera las fronteras del tiempo y del espacio.

Al Dr. C. Modesto Mojena Graverán de Comercial Caimán Internacional, por suministrarme una parte de los fertilizantes necesarios para dar cumplimiento al proyecto de tesis, aunque mi

querido y viejo amigo, sabe que mi agradecimiento va mucho más allá de eso, cuenta también la palabra de ánimo, la preocupación por como me van las cosas, la voluntad por ayudarme, en fin, todo ha sido más fácil porque el existe. A ti te debo la encuadernación de esta tesis.

A la Ingeniera Hortencia Cardoza Pereira, siempre te tomaré como un ejemplo a seguir, te debo muchas de las cosas que aprendí, en lo profesional y en lo personal, contigo maduré en todos los sentidos, confiaste siempre en mí, de ti aprendí lealtad e incondicionalidad, que no importan las cosas materiales si el resto no está bien y que la amistad debe superar todos los obstáculos.

Al Dr. C. Noel Arozarena Daza, por acogerme con cariño como una de sus discípulas, es un honor y una de las mayores retribuciones que he recibido.

A todos los miembros del Consejo Científico del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”. Con cariños especiales a los doctores, Rosa Orellana, Zoila Fundora, Rafael Martínez Viera, Nelso Companioni, Amelia Capote y Felix Cañet.

A mis amigos del Centro de Investigaciones e Ingeniería Química del MINBAS, especialmente a la Msc. Mayra González Hurtado y a los ingenieros Carmen Rodríguez y Rolando Gil. Ellos me ayudaron en la impresión de todas las versiones de la tesis, pero su principal mérito es haber estado siempre disponibles.

A los especialistas de cultivo protegido, Adrián Céspedes Perera y Luis López Valdez de Cítricos Ceiba, Lázaro Ponce de Cítricos Jagüey Grande y Filiberto de Cítricos Jíquima en Holguín, por ayudarme a garantizar, sin costo alguno, la mayoría de los insumos que se necesitan en esta costosa tecnología, principalmente los fertilizantes, los ácidos y las semillas de tomate.

Al ingeniero Pedro Conde del Grupo BM, por garantizar el equipamiento de riego necesario para efectuar, sin problemas, las actividades de fertirriego previstas durante la etapa experimental.

A la Dra. C. Graciela Dueñas Vega, oponente en el acto de predefensa, cuyos señalamientos críticos, constructivos y oportunos contribuyeron a mejorar el documento que se presenta.

A la Dra. C. Teresa López del Instituto de Riego y Drenaje, por sus sugerencias valiosas en el tema de riego.

A los doctores Caridad Walkiria Guerra Bustillo de la UNAH y Mario Varela Nualles del INCA, así como al ingeniero Juan Miguel Montalvo Guerrero del Instituto de Investigaciones Forestales, por sus orientaciones en los análisis estadísticos y en el procesamiento de la información.

A los doctores Albina Maestrey del MINAG y Adriano Cabrera del INCA, por las sugerencias realizadas al documento de tesis.

A los técnicos del laboratorio de análisis de suelo y planta de la Estación Experimental “La Renee”, Juana María Dantín, Elia Deysi Ramos y Kenia Quicute Mauri, por garantizar, pese a todas las dificultades, los análisis de agua, suelo y planta que sustentan los resultados obtenidos.

A la Dra. C. Soledad Bolumen y a su equipo de trabajo del Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia.

A esta ya larga e incompleta lista quiero agradecerle a mis compañeros de trabajo, a los que estuvieron conmigo todos los días.

A la Dra. C. Elizabeth Peña Turruellas, mi amiga de los años y directora del Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”.

Al Dr. C. Antonio Casanova Morales, por los señalamientos realizados a la tesis y por el tiempo invertido en revisarla. También por elogiar y apreciar sinceramente mi desempeño profesional y por contribuir a mi formación con entusiasmo y desprendimiento. Tengo mucho que aprender de ti, muchas de tus cualidades trataré de incorporarlas a mi comportamiento y manera de ser.

A mis compañeros del Grupo de Agroquímica, Virginia Marrero González, Alberto Igarza Sánchez, Yunia Perera Montero y Duniel Mederos Lastra, les debo muchísimo, pero se que a ustedes, más que a nadie, les toco muy de cerca sobrellevarme.

A la Msc. Julia Mirta Salgado Pulido y a la técnica Odalis Bruzón Guerrero del Laboratorio de Postcosecha, por la realización de los análisis de calidad y conservación de frutos y por ser de mis amigas más cercanas.

A la Ing. Leonor Bullain, fertirrigadora en el módulo de cultivo protegido de “Liliana Dimitrova”, por ayudarme en todo.

A los especialistas de cultivo protegido Félix Cabrera y René Ramos, creo que al final de esta jornada podemos hacer alardes de nuestras excelentes y bonitas relaciones de trabajo, caracterizadas por la colaboración constante, los debates, las discrepancias y el estoy o no de acuerdo. Aprendí de ustedes que la polémica impulsa el trabajo y que es parte imprescindible de un equipo. Gracias por apoyarme, estimarme y reconocer sinceramente mis modestos esfuerzos y resultados.

A la Msc. Alicia Fernández Miranda, subdirectora de Ciencia e Innovación Tecnológica y al Ing. Rafael Deroncelé, Jefe del Grupo de Hortalizas al que pertenezco, por sensibilizarse con las metas identificadas, por sobrellevarme cuando las cosas se tornaban difíciles, por comprenderme y ayudarme.

A la Msc. Elda Padrón Céspedes, por trasmitirme desde cualquier lugar energía positiva.

A la Msc. Blanca Bernal, por el monitoreo fitosanitario que de manera rigurosa realizó a todos los experimentos y por demostrarme siempre admiración y simpatía.

A la Dra. C. Olimpia Gómez Consuegra, por estar disponible cuando la necesité.

A la Ing. Niurka Aulán, por su ayuda en el procesamiento estadístico de los datos.

A María Elena Herrería Martínez, fue una suerte poder contar contigo ya casi al final de este proceso.

A los técnicos Luis Sánchez, Jesús Sánchez y José A. Macdonald por su apoyo en las actividades de campo.

A todos mis amigos, que son muchos.

A todos mis compañeros de trabajo

A los que ya no están presente.

Gracias.

Dedicatoria

A la memoria de mi abuela María, que tu luz ilumine mi camino.

A mami y a papi.

SINTESIS

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar la fertilización mineral en el cultivo protegido del tomate (híbrido HA 3019) en condiciones de suelo Ferralítico Rojo a partir de soluciones nutritivas equilibradas con una adecuada relación N:K₂O (N:K) y de indicadores para el diagnóstico foliar. En la época primavera-verano, el mejor comportamiento se obtuvo con la relación N:K 1:2.0, teniendo en cuenta los indicadores de crecimiento, producción y calidad de frutos evaluados. Esta relación, en condiciones de validación, permitió cuantificar un rendimiento total similar al testigo de producción (1:2.5), con una producción extra superior en un 24,65 % y una disminución en los costos de la fertilización de 823,81 CUC/ha. En la época de invierno se comprobó que resulta factible utilizar la relación N:K 1:2.5, variante recomendada en el Instructivo Técnico vigente. Los rangos críticos foliares, estimados entre la fase III y el período de plena producción, oscilaron respectivamente, entre 2,56–4,71 %, 3,34–4,96 % y 0,76–0,99 en primavera-verano y entre 3,22–5,20 %, 3,69–4,35 % y 0,81–1,19 en invierno. La concentración de nutrientes en la solución del suelo varió en dependencia de la época de plantación, la fase del cultivo y las características de los elementos, mientras que un adecuado equilibrio entre los cationes K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ constituye un aspecto de manejo nutrimental imprescindible para mantener sus contenidos foliares en los niveles normales y mitigar algún desbalance químico que presenten los suelos Ferralíticos Rojos.

1. INTRODUCCIÓN.

La agroplasticultura y todas las tecnologías a ella asociadas, marcan una línea de desarrollo agrícola indispensable para incrementar el rendimiento de los cultivos por unidad de superficie cultivada. Los invernaderos, en países fríos y templados y las casas de cultivo en la región tropical, como modalidades de la agricultura bajo plástico, permiten convertir zonas con alguna limitación agroproductiva en modernos sistemas agrícolas, así como extender los calendarios de cosecha de muchas especies hortícolas como solución a los múltiples factores de clima que limitan su potencial productivo en una gran parte del año (Avendaño 2005; Guzmán, 2006).

El sistema de cultivo protegido, como modalidad de la horticultura intensiva en Cuba, ha cobrado notable auge y difusión desde la década del noventa. Desde entonces el Ministerio de la Agricultura (MINAG) y otros organismos de la administración central del Estado han realizado importantes inversiones para aumentar su superficie y asegurar el suministro estable de hortalizas frescas al mercado turístico, principalmente tomate en la época de primavera-verano, al que se le dedica el 70 % de la superficie instalada y el 30 % restante en el invierno (Casanova *et al.*, 2005).

Desde el 2005, el MINAG viene ejecutando varios programas priorizados, como son el de sustitución de importaciones y el de cultivos protegidos, que prevén incrementar la superficie a 200 ha en el 2010. Se estima que el país cuenta actualmente con 178,18 ha de cultivo protegido, donde se incluye el Programa Especial de las 42 ha, inversión que se presenta con grandes perspectivas para la exportación y la satisfacción de otras demandas nacionales (Cuba MINAG, 2009).

No obstante, este esfuerzo inversionista no muestra en la actualidad el impacto económico y social que se esperaba. En la Comisión Agroalimentaria del Segundo Período Ordinario de Sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular, en diciembre de 2008 se planteó que: *“...Las producciones del cultivo protegido aún no se corresponden, ni en volumen ni en rendimiento agrícola, con los recursos que el Estado dedica a ese programa..., inversión que puede sustituir importaciones y generar una valiosa fuente de divisas para el país...”⁽¹⁾.*

En Cuba, desde el punto de vista tecnológico, la fertilización constituye una de las principales limitantes del sistema de cultivo protegido. En general, se aplican esquemas de nutrición estandarizados para todo tipo de suelo y épocas de plantación, no se cuenta con indicadores o normas de referencia para el monitoreo del sistema suelo-planta-agua y se presentan con frecuencia incumplimientos de las normativas técnicas vigentes. A estos problemas se unen una insuficiente capacitación y limitaciones en la disponibilidad sistemática de los recursos necesarios para garantizar un fertirriego eficiente (Chailloux *et al.*, 2002; Cardoza *et al.*, 2007).

Por otra parte, la información disponible en el país sobre fertilización mineral en casas de cultivo es escasa o prácticamente nula, pues la implementación de la transferencia tecnología antecedió a la disponibilidad de resultados de investigación nacionales que pudieran servir de sólida base científica para el ajuste de los programas actuales de fertilización.

Estos programas están sustentados en recomendaciones de la bibliografía internacional, proveniente en su mayoría de países fríos o templados y ajustados en la práctica productiva, tomando en cuenta los rendimientos alcanzados y la experiencia acumulada por los productores en el manejo del fertirriego. Esto impide afirmar que en todos los casos, las altas dosis de fertilizantes estén debidamente justificadas desde el punto de vista técnico y económico.

⁽¹⁾ Informe del MINAG a la Comisión Agroalimentaria del Segundo Período Ordinario de Sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular: Programa de cultivos protegidos y semiprotegidos, diciembre de 2008.

Dentro del manejo de la fertilización en el cultivo protegido del tomate se identifica como problemática la definición de concentraciones y relaciones óptimas de nutrientes en la solución nutritiva, especialmente la relación N:K, la cual incide en los rendimientos y en la aparición de determinados desordenes fisiológicos que se relacionan con el color, tamaño, firmeza y vida en anaquel de los frutos y que demeritan su calidad, especialmente en períodos adversos de clima.

Se precisa además profundizar en aspectos referidos a las características fisiológicas y nutricionales del cultivo y en el establecimiento de indicadores para el diagnóstico nutricional por fases de desarrollo, época de plantación y tipo de suelo; estudios necesarios para elevar la eficiencia de la nutrición y respaldar los programas de fertilización actuales.

Estos aspectos cobran especial importancia para los suelos Ferralíticos Rojos sobre los que se asienta el 58,18 % de las instalaciones del país y donde la intensa explotación agrícola a que son sometidos, las altas y reiteradas aplicaciones de agroquímicos, los bajos aportes de materia orgánica y la ubicación de carácter permanente de las instalaciones, está conllevando a pérdidas de su fertilidad y productividad (Monedero *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta lo expuesto se planteó la siguiente **hipótesis de trabajo**: *La aplicación de soluciones nutritivas equilibradas en el fertirriego con una adecuada relación N:K y la utilización de indicadores para el diagnóstico foliar en el cultivo protegido del tomate, constituyen aspectos de manejo de la nutrición que permiten incrementar, en dependencia de la época de plantación, el rendimiento y la calidad del fruto en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.*

Objetivo general: *Optimizar la fertilización mineral en el cultivo protegido del tomate a partir de la utilización de soluciones nutritivas equilibradas con una adecuada relación N:K y el empleo de indicadores para el diagnóstico foliar en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.*

Objetivos específicos:

1. *Determinar*, la relación N:K a utilizar en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo según la época de plantación.
2. *Proponer* rangos críticos foliares de N y K por fases de crecimiento y épocas de plantación.
3. *Definir* algunos elementos básicos para el manejo eficiente de la fertilización mineral en el cultivo protegido del tomate en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.

La **novedad científica** está dada por los resultados que se presentan en el tema de fertilización en el cultivo protegido del tomate en las condiciones del trópico cubano, los cuales representan aportes novedosos al conocimiento de su nutrición en suelos Ferralíticos Rojos. Se abordan además aspectos de la fisiología del cultivo y se establecen indicadores para el diagnóstico de la nutrición, en especial los rangos críticos foliares de N y K por fases de crecimiento y épocas de plantación, los que constituye desde el punto de vista metodológico, indicadores para el seguimiento del desarrollo del cultivo.

El **valor práctico** radica en la recomendación, avalada desde el punto de vista científico, de soluciones nutritivas equilibradas con una relación N:K acorde con la fase de crecimiento y la época de plantación para ser utilizada en los programas de fertirriego en el cultivo protegido del tomate. Otro aspecto de interés está relacionado con la disponibilidad de indicadores de referencia para el diagnóstico foliar del cultivo que permitirán predecir, desde etapas tempranas

y según la época del año, las posibles deficiencias nutricionales que pueden impedir la expresión de los máximos rendimientos, así como utilizarse con fines correccionales de la fertilización nitrogenada y potásica.

Se definen además elementos básicos para el manejo nutrimental del cultivo relacionados con la utilización de soluciones nutritivas equilibradas durante el fertirriego, así como valores orientativos de concentración de nutrientes en la solución del suelo, este último indispensable en el monitoreo del sistema suelo-planta-agua.

Los resultados obtenidos constituyen puntos de partida hacia la satisfacción de las demandas de la tecnología, servirán de base para respaldar los programas actuales de fertilización, fundamentan la ejecución de otras investigaciones dirigidas a la optimización del fertirriego y brindan información para la capacitación de actores y decisores del proceso productivo.

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA.

2.1. El cultivo protegido de las hortalizas. Generalidades.

Para disponer de hortalizas frescas durante todo el año, el hombre ha diversificado los sistemas de producción a través de diferentes enfoques y técnicas en función de las zonas agroclimáticas, esto trajo como consecuencia la introducción y generalización del cultivo de las hortalizas con parte o todo el ciclo bajo protección (Langlais, 2002).

El cultivo protegido es una tecnología que modifica el clima que rodea a las plantas, las protege de sus efectos adversos y mejora la productividad de los cultivos. Su adopción persigue como objetivo, único o compartido, asegurar el suministro de hortalizas frescas en lugares y épocas del año donde las condiciones climáticas imposibilitan o limitan su desarrollo, incrementar los rendimientos por unidad de superficie y obtener ventajas económicas en el mercado externo al presentar productos fuera de temporada (López-Gálvez y Zapata, 2000).

En cuanto a los principales factores que determinan la asimilación de esta tecnología en las diferentes zonas edafoclimáticas se señalan la irregularidad de las lluvias, condiciones de extremo invierno, alta radiación solar, fuertes precipitaciones y temperaturas que sobrepasan el límite biológico permisible para la gran mayoría de los cultivos hortícolas (Avendaño, 2005).

Por esta razón, en países de clima frío se busca el “efecto invernadero” para elevar las temperaturas, en zonas desérticas se recurre al “efecto cortavientos” para reducir la evapotranspiración y propiciar el ahorro de agua, mientras que en la región tropical se adopta el efecto “sombilla” para proteger a las plantas del exceso de radiación solar, las altas temperaturas y las intensas lluvias, garantizando a su vez la máxima aireación y salida del calor mediante

mallas de sombreo y ventanas cenitales; a este tipo de instalación se le denomina casas de cultivo (Langlais 2002; Casanova, 2004).

La disponibilidad material y económica en diferentes regiones del mundo ha traído como consecuencia la implantación de instalaciones de todo tipo, que varían en cuanto a su forma, altura, estructura, cubierta (cristal, plástico, con propiedades antigoteo, fotoselectivas, de una a tres capas), grado de automatización y sistemas de climatización (calefacción artificial, pantallas térmicas, control de la humedad relativa e inyección de CO₂) (López-Gálvez y Zapata, 2005).

Los invernaderos y las casas de cultivo no son simples estructuras de protección a factores climáticos adversos, sino que se definen como sistemas de cultivo que incluyen un conjunto de instalaciones y de manejo agronómico, encaminadas a brindar condiciones favorables para el desarrollo de las plantas durante todo el año o en una época de interés comercial (Salinas, 2003).

Los factores que influyen en el rendimiento, como la luz, temperatura, humedad relativa, agua, nutrientes y control fitosanitario, deben mantenerse en los niveles que cada cultivo requiere y para ello se introducen diversas prácticas de manejo climático y agronómico. Dentro de esta última se destaca la fertirrigación, la sanidad vegetal diferenciada y la utilización de materiales genéticos de elevado potencial de rendimiento y calidad de frutos (Acuña, 2003).

En la agricultura protegida se destacan dos sistemas de cultivo, en suelo y “sin suelo”. Este último surgió como una alternativa de manejo a enfermedades del suelo y como variante de producción en zonas con alguna limitación agrícola; su exponente inicial fue la creación de un sustrato artificial denominado enarenado en Almería, España, en el año 1957. El término “sin suelo” se utiliza para designar aquellos sistemas de cultivo que se desarrollan tanto en sustratos

inertes como en sustratos con cierta actividad química y biológica como las turbas rubia y negra, la corteza de pino y la vermiculita e incluye además la hidroponía (Técnica del Film Nutriente o NFT), aunque es común nombrar hidropónicos a un cultivo que se desarrolle en cualquier sustrato que no sea el suelo. Los “sin suelo” pueden ser cerrados con recirculación de la solución nutritiva, o abiertos a solución perdida (Fernández y Gómez, 1999; Parra y Flórez, 2006).

En la actualidad existen en el mundo 920 000 ha de cultivo protegido en la modalidad de invernaderos (57,28 %), casas de cultivo y túneles (40,76 %) e hidropónicos (1,96 %). La mayor superficie se localiza en Asia y Europa con un 62,12 y 23,62 % del área total del mundo respectivamente y sus máximos exponentes son Japón (130 300 ha), China (85 000), Italia (80 500 ha) y España (50 200 ha). En América se destacan, Estados Unidos (10 250 ha), Colombia (4 500 ha), Ecuador (2 700 ha) y México (1 200 ha) (Papaseit *et al.*, 2000; Quesada, 2007).

Las especies de mayor rentabilidad son el tomate, el pimiento, el pepino y el melón; también se cultivan la berenjena, el calabacín, la fresa y diversas plantas ornamentales. Los rendimientos que se logran en esta tecnología son variados y dependen del cultivar, tipo de instalación e interés comercial. Se obtienen desde 300 t/ha/año de tomate en España hasta 600 t/ha/año en Holanda, 300–400 t/ha/año en pepino y 150–200 t/ha/año en pimiento (Quesada, 2007).

2.2. El cultivo protegido de las hortalizas en Cuba.

El carácter del clima en Cuba está determinado por su posición geográfica al margen septentrional de la zona tropical, lo que provoca la separación del año en dos estaciones, la de seca (noviembre–abril) y la de lluvias (mayo–octubre). La temperatura media anual es de 25 °C, con poca variación entre el día y la noche, las lluvias son de gran intensidad, la humedad relativa

es alta y se presentan irregularidades en el comportamiento de las estaciones. Estas particularidades hacen extremadamente difícil la producción de hortalizas a campo abierto durante gran parte del año (Gómez *et al.*, 2000).

En Cuba, se viene trabajando desde hace varias décadas para resolver esta problemática, se han establecido estrategias de manejo que incluyen, el uso de cultivares con adaptación al calor, la utilización de microclimas favorables durante el verano, la hidroponía y más recientemente la tecnología del cultivo protegido de las hortalizas. Esta última se introdujo a mediados de los años 90, a partir de transferencias tecnológicas desde Israel y España con los modelos Avirit y Diente de Sierra, instalaciones basadas en el “efecto invernadero” (Casanova *et al.*, 2005).

En 1998 se generalizó la casa “rústica” o de madera que permitió corroborar los beneficios del efecto “sombilla” para el trópico cubano. Esta instalación sirvió de prototipo para el diseño y montaje en 1999, de los modelos Tropical A-10 y Tropical A-12, de estructura metálica, con ventana cenital abierta y malla sombreadora por los laterales y el frente; estas cubren en la actualidad una superficie de 93,93 ha, el 60,03 % de las existentes (Cuba MINAG, 2009).

Estudios efectuados en el Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” en el año 2003, indicaron que estas instalaciones pequeñas y abiertas de 540 m², presentaban en el mes de julio una temperatura interior promedio de 36,50 °C, mientras que se registraban valores de 41 °C en modelos de 5 000 m² (Avirit) con ambiente cerrado (Pupo, 2004).

Los importantes avances logrados en la adaptación de la tecnología al trópico cubano y la puesta en marcha del Programa para el Desarrollo del Cultivo Protegido (1999-2005) del Ministerio de la Agricultura (MINAG) propiciaron un rápido incremento de la superficie dedicada a esta

modalidad, la cual creció de 29 ha en 1998 hasta 104 ha en el 2004. En el 2005 se inició un nuevo Programa de desarrollo, con una inversión inicial de 42 ha y que pretende alcanzar las 200 ha en el 2010 (López, 2008; Méndez, 2008).

En la actualidad existen en Cuba 178,18 ha de cultivo protegido con 2 598 instalaciones y 175 unidades de producción (proyectos o módulos); 146,80 ha pertenecen al Ministerio de la Agricultura (MINAG), 1,80 ha al Ministerio del Azúcar (MINAZ), 22,08 ha a la Unión Agropecuaria Militar del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR), 7,05 ha al Grupo Empresarial Agropecuario del Ministerio del Interior (MININT) y 1,05 ha a otros organismos. Las provincias de Matanzas, La Habana, Ciego de Ávila, Ciudad de la Habana y Holguín concentran el 60 % de las áreas y un 4,83 % de la superficie total se encuentra en la modalidad de cultivo “sin suelo”, utilizando como sustrato zeolita cubana (Cuba MINAG, 2009).

Las principales especies que se cultivan son el tomate, el pimiento, el pepino, el melón y la sandía y se definen dos épocas de plantación para la producción hortícola en casas de cultivo, invierno y primavera-verano, con trasplantes de agosto a febrero y de marzo a julio respectivamente. En el país se han logrado como rendimientos máximos, más de 200 t/ha/año de tomate, 300 t/ha/año de pepino, 130 t/ha/año de pimiento, 110 t/ha/año de melón y 130 t/ha/año de sandía (Casanova *et al.*, 2007; Cuba MINAG, 2009).

2.2.1. El tomate en el sistema de cultivo protegido en Cuba.

En la horticultura cubana, el cultivo del tomate constituye el 21,72 % del volumen total de producción y el 20,16 % de la superficie de siembra, las que se ubica en todas las zonas edafoclimáticas del país, aunque seis provincias agrupan más del 60 % de la producción, Pinar

del Río, La Habana, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Granma. En el 2008 se alcanzó para el tomate a campo abierto, 332 000 t en 47 200 ha, con un rendimiento promedio de 7,03 t/ha, inferior en un 47,18 % al obtenido en el 2007. (Cuba ONE, 2008). Los bajos rendimientos se encuentran condicionados, entre otros factores, por la incidencia de organismos plagas como el complejo begomovirus–mosca blanca y por las condiciones ambientales que prevalecen en el trópico (Gómez *et al.*, 2000).

El tomate necesita durante el día temperaturas de 20 a 26 °C y en la noche de 14 a 20 °C; valores que sólo se encuentran en la estación de seca, aunque la influencia variable de los frentes fríos puede cambiar, de manera discontinua, los elementos meteorológicos que caracterizan a esta época. Por otra parte, las lluvias excesivas que se producen en primavera–verano, conjuntamente con porcentajes de humedad relativa elevados, superiores al 80 %, y asociadas a altas temperaturas, favorecen la incidencia de organismos plagas, principalmente hongos y bacterias (Gómez *et al.*, 2000; Rodríguez, 2004).

Este cultivo requiere además entre 8 a 16 horas luz, con una radiación fotosintéticamente útil entre 150 000 a 200 000 lx (150 a 200 J/m²/s), necesarias para lograr un buen desarrollo de la planta y mejorar la calidad del fruto en color y sabor (Álvarez, 2002; León, 2006); condiciones que no son características del invierno en Cuba, donde se puede presentar una intensidad luminosa débil y agravarse el efecto de los días cortos en el desarrollo del cultivo; esta época se caracteriza por poseer, como promedio, 7,25 horas luz (Gómez *et al.*, 2000; Pupo, 2004).

Estas características del clima en Cuba, propias del trópico, distan muchos de las exigencias del cultivo y es que el Caribe se encuentra tan cerca de los límites de tolerancia biológica de la

especie, que los pequeños cambios que se registran en algunas variables climáticas son capaces de determinar el éxito o el fracaso del cultivo (Gómez *et al.*, 2000; Casanova *et al.*, 2005).

Por esta razón, desde el punto de vista económico se prioriza en el sistema de cultivo protegido las siembras de tomate en época de primavera-verano, con el objetivo de satisfacer, principalmente, las necesidades de la industria turística, sector de la economía cubana que demanda anualmente de 2 600 t de tomate, 60,37 % del total de las hortalizas frescas (Cuba MINTUR, 2008).

Otros destinos son la venta en los Mercados Agropecuarios Estatales, el consumo social y la exportación; el país ha exportado desde el 2005, 80,70 t de tomate de ensalada, en racimo y cherry, con un importe total de 118 357,33 CUC (Cuba MINAG, 2008a).

El cultivo protegido del tomate representa alrededor del 70 % de la superficie instalada en la época de primavera-verano y el 30 % en la época óptima o de invierno, para las cuales se planifican rendimientos entre 50–60 y 80–100 t/ha, respectivamente. Para cumplir con estas metas de rendimiento se utilizan híbridos F₁ de crecimiento indeterminado para el cultivo vertical y que permiten la combinación de características tales como, alta productividad, calidad del fruto y resistencia simultánea a plagas, entre ellas el virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate o TYLCV (Casanova *et al.*, 2005; Hernández, 2007; Hernández, 2008).

Se utilizan también híbridos del tipo determinado o semideterminado con un manejo vertical especial, entre los que se destaca el híbrido comercial israelí HA 3019, con alta tolerancia al TYLCV y generalizado en todo el país a partir del 2003; este híbrido forma parte de la estructura varietal del 42,63 % de las unidades de producción existentes (Cuba MINAG, 2009).

La introducción de cultivares F₁ cubanos, conjuntamente con el manejo agronómico, constituyen los aspectos de la tecnología que más han evolucionado en estos años. Los semilleros se establecen con la tecnología de producción de plántulas en cepellones, se realizan modificaciones en el sistema de poda, decapitado y densidad de plantación, se introducen los productos biológicos en el control fitosanitario y se incrementan las áreas de cultivo “sin suelo”, con control automatizado para el fertirriego (Gómez y Rodríguez, 2004; Casanova *et al.*, 2005).

Como avance significativo se encuentra además, el desarrollo de la tecnología del injerto herbáceo para el control de nemátodos, alternativa que sustituye la aplicación del Bromuro de Metilo; se cuenta con resultados referentes a compatibilidad injerto–patrón e identificación de patrones foráneos y nacionales resistentes a *Meloidogyne incognita* (González *et al.*, 2008).

Sin embargo, el esfuerzo inversionista que desde la década del noventa realizan el MINAG y otros organismos para lograr incrementar la superficie de cultivo protegido y con ella la producción de alimentos, así como los importantes avances obtenidos en la investigación científica y participativa, no muestran en la actualidad el impacto económico y social que se esperaba de la tecnología. Se cuantifican rendimientos en tomate por debajo de lo planificado e importantes afectaciones en los atributos que determinan la calidad del fruto.

Como principales problemas se identifican indisciplinas tecnológicas, limitaciones en la disponibilidad de los recursos, insuficiente capacitación y dificultades económicas, sociales y organizativas que disminuyen sensiblemente el impacto del sistema. No obstante, sobresalen los resultados productivos alcanzados por las Empresas de Cultivos Varios “Cubaquivir” (Pinar del Río) y “Nueva Paz” (La Habana), las Empresas de Cítricos “Ceiba” (La Habana) y “Victoria de Girón” (Matanzas) y el proyecto “Atabey” del MINFAR (Ciudad de la Habana), lo que

demuestra la factibilidad agronómica y económica de la tecnología, al cuantificarse en estos proyectos rendimientos superiores a las 200 t/ha/año (Cuba MINAG, 2009).

2.3. Particularidades de la fertilización en el cultivo protegido del tomate.

La fertilización de las hortalizas en casas de cultivo se realiza a través del sistema de riego y en su concepto se centra una buena parte de los avances técnicos que sustentan el desarrollo de la agricultura intensiva; fertirrigación significa, aplicación simultánea de agua y fertilizantes. El fertirriego permite aplicar uniformemente los nutrientes al volumen radicular humedecido, según la fenología del cultivo y en correspondencia con las características de clima y suelo (Román, 2002; Rodrigo y Cordero, 2003; Vidal, 2006).

Las recomendaciones de fertilización son diferentes según el sistema de cultivo. Murcia (2000) establece que en un invernadero se pueden alcanzar rendimientos en tomate de 200 a 250 t/ha, mientras que a campo abierto se obtienen hasta 80 t/ha. En tales circunstancias, la absorción de nutrientes en invernadero se duplica o triplica en comparación con el campo abierto.

En este sentido, Bar-Yosef *et al.* (1992) y Maroto (1998) coinciden en plantear que las dosis de N, P₂O₅ y K₂O que se utilizan en el cultivo protegido del tomate, pueden llegar a ser superiores en un 180, 270 y 192 % respectivamente con relación a un tomate que se cultiva a campo abierto; de manera general las cantidades que se recomiendan se encuentran entre 275–750 kg N/ha, 120–400 kg P₂O₅/ha, 430–1200 kg K₂O/ha (Rincón *et al.*, 1990).

Al programar el fertirriego en el cultivo protegido del tomate, Segura *et al.* (2000) plantean la necesidad de considerar algunas características que condicionan la nutrición en este sistema. Entre ellas, la intensidad de la explotación, la utilización de híbridos de rápido crecimiento, altos

rendimientos, con un sistema radical limitado y una elevada extracción de nutrientes. A estos elementos, Chailloux *et al.* (2004) añaden los frecuentes deshojes, deshijes y demoliciones con los que se pierden nutrientes acumulados. Por su parte, Cadahía *et al.* (2002) plantean como particularidades, la escasa lixiviación, la alta evaporación y la acumulación de sales en el suelo, mientras que Real (2004) afirma que la reserva mineral del suelo disminuye al estar las raíces concentradas en el bulbo húmedo, lo que obliga a la reposición de los nutrientes con elevada frecuencia, aún cuando el análisis de suelo indique lo contrario.

El sistema de cultivo protegido introduce un mayor índice de ocupación de la tierra, por lo que el uso continuado de los suelos en el área limitada de una casa de cultivo, conjuntamente con las altas y reiteradas aplicaciones de agroquímicos y los bajos aportes de materia orgánica pueden generar pérdidas de fertilidad y productividad de los suelos (Alfonso *et al.*, 2006).

La dinámica de absorción de los nutrientes en el cultivo protegido del tomate sigue un patrón de distribución semejante al que se presenta en campo abierto. En las etapas de floración y fructificación se absorbe el 68, 70 y 75 % del N, P y K que se aplica; se calcula que este cultivo necesita para producir una tonelada de fruto entre 2,50–3,25 kg N/t, 0,32–1,01 kg P/t, 3,64–6,60 kg K/t, 1,17–2,75 kg Ca/t y 0,60–1,10 kg Mg /t (Ruiz, 2006; Samalvide y Moltini 2006).

La fertirrigación se realiza con soluciones nutritivas, cuya concentración nutrimental se expresa en mg/L (ppm), mmol/L o meq/L. Steiner (1966) empleó el concepto de relaciones mutuas entre iones, teniendo en cuenta que no solo es importante la cantidad de nutrientes, sino también la relación cuantitativa entre cationes y aniones, y entre iones de una misma carga eléctrica. Basados en estos principios, Baca (1983) y Steiner (1984) establecieron que una solución nutritiva verdadera, debe contener los nutrientes disueltos, en concentraciones equilibradas, con

una relación $K^+ : Ca^{++} : Mg^{++}$ entre (40–70):(25–45):(5–16) (% del total en mmol/L), un pH entre 5,50–5,80 y una conductividad eléctrica en correspondencia con la fenología del cultivo.

En la actualidad se utiliza el término de solución ideal y se relaciona con una concentración de nutrientes en torno a las raíces lo más próxima a aquella que necesite el cultivo por fenofases. No obstante, Alarcón (2000) plantea que la solución ideal no existe, puesto que muchos factores condicionan las necesidades nutritivas de un cultivo, por lo que sería conveniente partir de una solución adaptada al cultivar, agua de riego y condiciones edafoclimáticas y posteriormente será el propio cultivo el que indique sobre como ir reajustando la composición de la disolución nutritiva en base al monitoreo del sistema suelo–planta–agua.

Existen diversas recomendaciones de soluciones nutritivas según la fase de crecimiento en el cultivo protegido del tomate y en todos los casos la mayor concentración corresponde al período de desarrollo de los frutos y de cosecha. Steiner (1984) recomienda concentraciones de NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{--} , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} entre 6,90–16,60, 0,20–1,20, 1,20–5,50, 4,40–13,10, 2,45–6,10 y 0,70–1,95 mmol/L respectivamente, mientras que Cadahía (2005) plantea como idóneos, valores de 8,00–12,50 mmol NO_3^- /L, 0,90–1,40 mmol NH_4^+ /L, 1,50 mmol $H_2PO_4^-$ /L, 4,00–7,50 mmol K^+ /L, 2,40–3,50 mmol Ca^{++} /L y 1,50–2,20 mmol Mg^{++} /L.

En Cuba, Moreno (2007), tomando en cuenta la experiencia acumulada en el manejo de la nutrición en el cultivo protegido del tomate, propone utilizar, como valores de referencia en la programación del fertirriego, 7,50–13,40 mmol NO_3^- /L, 1,50 mmol $H_2PO_4^-$ /L, 0,50–1,00 mmol NH_4^+ /L, 2,30–10,40 mmol K^+ /L, 2,50–5,80 mmol Ca^{++} /L y 0,85–1,92 mmol Mg^{++} /L. No obstante hay que señalar que cada plantación necesitará de un seguimiento específico que tenga en cuenta su fenología, el suelo, el clima y el control del sistema suelo–planta–agua.

2.3.1. Los elementos nutrientes en el sistema de cultivo protegido.

El N es un constituyente de los más importantes compuestos órgano–minerales de la planta. El 80 % se utiliza en la formación de proteínas, el 10 % en la síntesis de ácidos nucleicos y el 10 % forma aminoácidos y otros compuestos. Es por esto que posee una notable incidencia en el desarrollo vegetativo y en la productividad del tomate (Subbiah, 1994).

Con relación a lo anterior, Scholberg *et al.* (2000) encontraron que en situaciones de estrés de N, la capacidad fotosintética de diferentes cultivares de tomate se redujo a un 60 % y que la acumulación de materia seca en plantas se incrementó de 190 g/planta en el tratamiento con 0 kg N/ha, a 600 g/planta en las variantes que recibieron de 200 a 300 kg N/ha. Mientras que Scholberg (1996) y Ramos *et al.* (2002) plantean que condiciones subóptimas de N, en condiciones de enarenado, pueden reducir la productividad del tomate entre 60 y 70 %.

La deficiencia de P se asocia con un pobre sistema radical, maduración tardía y retardo en la floración. Este cultivo necesita una mayor proporción de P en las etapas iniciales de desarrollo, aunque la cantidad requerida durante todo su ciclo es baja cuando se compara con otros macronutrientes (Camozzi, 2005; Mallarino, 2005). No obstante, Dumas (2000) establece que la fertilización fosfórica adquiere especial atención en los cultivos con riego localizado, donde las raíces se ubican en una zona de humedecimiento con un crecimiento limitado.

Al analizar el efecto del P en la productividad y la calidad del tomate, bajo fertirriego, Grubinger *et al.* (1993) encontraron una relación lineal entre el rendimiento comercial y el contenido foliar de P. Mientras que Paliyath (2005) comprobaron que el incremento del P en la solución nutritiva

en condiciones de hidroponía, aumenta el contenido de licopeno en frutos, los sólidos solubles totales y las enzimas antioxidantes.

Es común encontrar resultados que indican que el tomate, al igual que muchos cultivos hortofrutícolas, requiere de grandes cantidades de K para lograr incrementar su rendimiento y mejorar los atributos que determinan la calidad de los frutos (Bugarin *et al.*, 2002; Bombelli y Wrigth, 2006). Basta señalar que el fruto constituye el principal sumidero de K, con valores de hasta 70 a 80 % del total que extrae la planta; el K representa además el 90 % de los cationes presentes en el fruto, mientras que un 64 % se localiza en el pericarpio (Morales *et al.*, 2007; Ruíz *et al.*, 2006; Battilani, 2008).

El K contribuye a incrementar el rendimiento comercial del cultivo, la concentración de ácidos y azúcares en el fruto, su peso, consistencia, sabor, vida postcosecha y contenido de licopeno (Perkins y Roberts, 2004; Terabayashi *et al.*, 2004; Hartz *et al.*, 2005). Por estas razones, adquiere especial atención en los programas de fertirriego, pues permite incrementar el rendimiento del tomate y reducir la aparición de desordenes fisiológicos que se originan debido a un inadecuado manejo climático y agrotécnico (Jarquin–Enriquez *et al.*, 2005; Mikkelsen, 2005).

El Ca constituye uno de los elementos que en mayor cantidad demanda este cultivo, indispensable en frutos altamente perecederos pues fortalece la estructura de las paredes y membranas celulares, aumenta la resistencia a las enfermedades y mejora la calidad interna y externa del fruto; el síntoma más común de su deficiencia es la pudrición apical (Justribo, 2006).

La temperatura y la humedad relativa constituyen factores climáticos que influyen en la entrada y movilidad de este nutriente en la planta. Mulholland *et al.* (2002) y Ruíz *et al.* (2008)

establecen que una baja humedad relativa con altas temperaturas provoca deficiencias de Ca y aparición de la pudrición apical en el fruto.

El Mg se absorbe como ión divalente, el 20 % del Mg^{++} total de las hojas se halla en los cloroplastos y sólo el 10 % corresponde a la molécula de clorofila, el resto se encuentra en forma iónica soluble y activa enzimas como la rubisco y la glutamato sintasa (Cezar, 2003).

En sistemas intensivos de producción, se hace necesaria la aplicación sistemática de los micronutrientes. Entre las principales condicionantes se encuentran el escaso volumen de suelo que exploran las raíces y la utilización de cultivares con una elevada extracción de elementos menores, que no se restituyen al suelo al remover la cosecha. Los micronutrientes Fe, Mn, Zn y Cu deben ser suministrados como quelatos pues sus sales son inestables en solución y precipitan fácilmente (Alarcón, 2002; Imas, 2002).

2.3.2. Relaciones entre los nutrientes.

Una de las cuestiones a tener en cuenta al elegir la fuente de fertilizante nitrogenada para el cultivo protegido del tomate es la relación NH_4^+/NO_3^- . La nutrición amoniacal produce un patrón de absorción catiónica que se basa principalmente en el NH_4^+ , lo que induce la excreción de iones H^+ al medio, con el objetivo de mantener la electroneutralidad en la rizosfera, provocando una disminución del pH del suelo, una posible toxicidad por Al y Mn y un efecto adverso en el crecimiento radicular (Marschner, 1995; Sandoval-Villa *et al.*, 2004).

Cuando el N se suministra únicamente en forma de NO_3^- , la planta absorbe más aniones que cationes, las raíces excretan iones OH^- al medio y el pH en la rizosfera puede llegar a ser superior a 8,00, lo que trae como consecuencias que el P y los microelementos precipiten,

disminuyendo su disponibilidad. Se recomienda entonces utilizar en las soluciones nutritivas una relación de 80 a 90 % de NO_3^- y de 10 a 20 % de NH_4^+ , para mantener el pH de la rizosfera del cultivo en valores óptimos (Vidal *et al.*, 2005).

Entre las interacciones que se producen entre el P y el resto de los nutrientes hay que señalar, como más importantes, su efecto antagónico en la absorción de Fe, Mn, Zn y B, así como la formación de precipitados insolubles de fosfatos de calcio en suelos calcáreos o donde existan aguas ricas en Ca; este último aspecto es necesario considerarlo al efectuar el balance de la solución nutritiva según la calidad del agua de riego (Nizamettin y Sezen, 2000; Justribo, 2006).

En el cultivo protegido del tomate se utilizan soluciones nutritivas llamadas de crecimiento y de floración. Su principal diferencia es la relación entre el N y el K, y se basan en que, aún siendo su relación sinérgica, un desbalance entre ellos provocaría efectos perjudiciales en el crecimiento, el rendimiento del cultivo y en la calidad de la cosecha, así como desequilibrios entre los procesos vegetativos y reproductivos (Rodríguez, 2000).

Por tales motivos, Barry (1997) y Demiral y Turgut (2005) indican que la relación N:K contribuye a la formación del rendimiento en el cultivo protegido del tomate, como resultado de un balance fisiológico correcto entre el crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración y la respiración. Estos autores plantean que un exceso de N es especialmente notable cuando las dosis de K son más bajas, de igual forma un déficit de N trae como resultados paredes delgadas, tallos débiles y una escasa producción de biomasa, aún cuando el suministro de K sea elevado.

En dependencia de la fenología del cultivo, Rodríguez (2000) establece, que las soluciones nutritivas con una relación N:K menor a 1:1.5 constituyen fórmulas de crecimiento, mientras que

una relación mayor corresponde a una fórmula de floración. Mientras que Imas (2002) plantea que a medida que la plantación avanza la relación N:K aumenta, ya que el K se absorbe en grandes cantidades durante la etapa reproductiva del cultivo.

En igual sentido, De Grasia *et al.* (2003) demostraron la importancia del ajuste de los niveles de N y K para promover la producción de flores, la cantidad y la calidad de la cosecha, mientras que Goldy *et al.* (2006) señalan que es necesario mantener la relación N:K hasta el final de ciclo del cultivo con el objetivo de evitar el marchitamiento y secado de la planta antes de que culmine la maduración de los frutos. Por su parte, Colombo y Obregón (2008) señalan que una adecuada relación N:K es indispensable para reducir la incidencia de desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración del fruto y para favorecer su acidez y firmeza.

Autores como Gent *et al.* (2002) recomiendan utilizar, en la etapa vegetativa del tomate, una relación N:K de 1:1.0, la cual aumentará hasta 1:3.0 en la cosecha, mientras que Bar Am (2002), Cedeño *et al.* (2002) y Shany y Castellón, (2005) coinciden en plantear que es conveniente tener, desde los primeros estadios del cultivo y hasta el cuaje de los frutos, una relación N:K de 1:1.5, mientras que durante el período de plena producción debe utilizarse una relación N:K de 1:2.0.

Sin embargo, en un estudio de relaciones N:K en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate en invernaderos climatizados, Khosla y Papadopoulos (2002) determinaron como idóneas relaciones N:K de 1:4.0, mientras que Goldy *et al.* (2006) encontraron que el rendimiento y la masa del fruto disminuyeron cuando se utilizaron relaciones iguales o superiores a 1:4.0.

Los diversos resultados obtenidos a nivel internacional hacen suponer que las relaciones N:K idóneas para el cultivo protegido del tomate, no solo dependen de la fases fenológicas en las que se encuentre la plantación, sino también del cultivar, de los rendimientos a alcanzar, de las

condiciones edafoclimáticas y de las técnicas de manejo climático que contribuyen a la máxima expresión del potencial de rendimiento de las plantas.

En el diseño de la solución nutritiva se debe respetar además el equilibrio entre los cationes K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , si se quiere obtener niveles óptimos de rendimiento y calidad de los frutos. Clementino *et al.* (2003) sugieren controlar las relaciones Ca^{++}/K^+ y Ca^{++}/Mg^{++} para lograr los rendimientos y la calidad deseada, mientras que, Fanasca *et al.* (2005) plantean que la relación $K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$ (mmol/L) debe situarse entre 0,60–0,90 en la etapa de llenado del fruto. De igual manera, Segura *et al.* (2005) consideran una relación ideal $Ca^{++} : Mg^{++}$ de 3:1 (mmol/L).

La disponibilidad de Ca^{++} y Mg^{++} puede afectarse por la adición de altas cantidades de NH_4^+ , mientras que elevadas concentraciones de Ca^{++} pueden mitigar los efectos adversos del Na^+ (Indowu y Aduayi, 2006). Por tales motivos Lezcano (2004) y Del Amor y Marcelis (2006), plantean que para evitar deficiencias de Ca y Mg, o desbalances con otros nutrientes, se necesita mantener un nivel adecuado de los elementos en la solución de aporte, cuya concentración final dependerá del equilibrio con el resto de los cationes y de la calidad del agua de riego.

2.3.3. Seguimiento del sistema suelo–planta–agua para la programación del fertirriego.

Para diseñar planes de fertirrigación ajustados a una determinada condición edafoclimática, se debe disponer de suficiente información que permita el monitoreo de los factores que afectan el sistema suelo–planta–agua e identificar alteraciones en el estado nutricional de las plantas.

El cultivo en suelo constituye un ambiente complejo pues cuando una determinada dosis de nutriente se suministra al cultivo es muy difícil de estimar la proporción de ella que pasa a la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Es por esto que el análisis de la solución del suelo

constituye el intermediario nutritivo entre el complejo absorbente y la planta y permite conocer la interacción que se produce entre la solución aplicada y el sustrato. Este análisis se logra con la colocación de las sondas de succión (Alonso *et al.*, 2006; Murillo *et al.*, 2006; Voogt, 2006).

La determinación de la conductividad eléctrica (CE) brinda una información rápida de lo que acontece con la solución nutritiva una vez que interactúa con el suelo. Al respecto Alarcón (2002) e Imas (2002) plantean como idóneo encontrar valores superiores de CE en las sondas de succión entre 0,20–1,50 mS/cm con relación a la cuantificada en la muestra de agua del gotero.

El tomate demanda una CE entre 2,50 a 3,00 mS/cm, aunque existen cultivares que se adaptan a soluciones nutritivas con una CE elevada, lo cual permite su explotación con aguas salinas. Una CE superior a 4,00 mS/cm puede provocar una disminución de un 10 % del rendimiento en el cultivo protegido del tomate (Kreij *et al.*, 2005; Barak *et al.*, 2006). No obstante, existe la práctica a nivel mundial de elevar la CE para incrementar los sólidos solubles totales, la acidez y el contenido de licopeno en frutos (Fernández *et al.*, 2004; Brasiliano, 2006).

En cuanto a los niveles de referencia para establecer una adecuada composición de la solución del suelo, Romo (2006) afirma que el material genético, la calidad del agua de riego y su variación en el ciclo, y en especial el suelo son factores que interactúan y dificultan, precisamente, identificar indicadores reales y aplicables a cualquier condición edafoclimática.

No obstante, Moreno, (2007) para las condiciones de Cuba y teniendo en cuenta estudios de monitoreo, establece para el cultivo del tomate que la CE y las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo deben ser superiores a la solución fertilizante entre 0,30–1,50 mS/cm y 1,00–3,00 mmol/L respectivamente, mientras que el NO_3^- y el K^+ tienden a igualarse.

El análisis foliar constituye una herramienta importante en el diagnóstico de problemas nutricionales. En el tomate se utiliza para el análisis foliar, la hoja recientemente madura, que suele corresponder entre la tercera y quinta hoja a partir del ápice de la planta. Posteriormente, se realiza la interpretación de los resultados analíticos tomando como referencia las normas existentes (Lucena, 1997; Malavolta *et al.*, 1997; Solórzano, 2006).

Algunos de estos métodos emplean la comparación entre la concentración de un solo elemento y su norma y otros utilizan relaciones entre dos elementos e incluso relaciones multicomponentes. Entre estos últimos se encuentran el DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated Systems) (Beaufills, 1971), el Balance Nutriente Evolutivo (Carpena y Carpena, 1982) y más recientemente el CND (Compositional Nutrient Diagnosis) (Parent *et al.*, 1995).

Con relación a estos métodos dinámicos, la bibliografía consultada indica una información limitada para tomate y hortalizas en general y los resultados disponibles corresponden, en su mayoría, a frutales. En Cuba sobresalen los estudios de Arozarena (1999), quien estableció en el cultivo hidropónico del tomate, los rangos de P:N, N:K y P:K para época óptima (0,09–0,13, 0,41–0,65 y 0,18–0,26) y de primavera–verano (0,15–0,16, 0,42–0,54 y 0,29–0,37).

Entre los métodos estáticos, se encuentra el Rango Crítico de Nutrientes (RCN) que se define como el rango de concentración de nutrientes para un estadio específico de crecimiento sobre el cual el cultivo se encuentra ampliamente abastecido, y bajo el cual se encuentra deficiente. Se hace coincidir este rango con el 90 y el 100 % del rendimiento máximo; el cálculo de estos niveles para un período que abarque una gran parte del ciclo del cultivo daría la posibilidad de predecir, en épocas tempranas posibles deficiencias nutrimentales (Dow y Roberts, 1982).

La precisión del riego es fundamental cuando se aplica la fertirrigación por lo que Castilla (2005) y López-Gálvez y Lozada (2006) plantean que es necesario realizar un riego eficiente que evite el lavado de los nutrientes o el aumento de la CE en la superficie del suelo. Estos autores establecen que para la definición del régimen hídrico se pueden utilizar, de forma complementaria, el método gravimétrico, el tensiométrico y el bioclimático.

La calidad del agua de riego es otro aspecto que incide en la formulación de la solución nutritiva. Esta contiene Na^+ y Cl^- , elementos tóxicos para el cultivo, que influyen en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Presentan además contenidos altos de K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , CO_3^{--} , HCO_3^- y SO_4^{--} que se tendrán en cuenta al realizar los cálculos de los fertilizantes que se necesitan en cada etapa del cultivo, así como para efectuar la corrección del pH a partir de la aplicación de ácidos (Abab *et al.*, 2005; Lozada, 2005; Villa *et al.*, 2006).

El seguimiento del fertirriego incluye además, el análisis de la solución fertilizante, para ello se toma una muestra de agua emitida en el gotero durante todo el fertirriego, lo que permitirá comprobar que los procesos de ajuste de pH y CE se efectuaron correctamente. En sistemas cerrados de cultivo “sin suelo”, se efectúa el análisis de la solución de drenaje que permitirá reutilizar la solución nutritiva colectada (Cadahía y Eymar, 2005; Castilla y Montalvo, 2005).

2.4. La fertilización mineral en el sistema de producción protegida de hortalizas y la agricultura integrada.

La tecnología de producción protegida de hortalizas puede traer consigo efectos colaterales indeseables en la salud pública y en el medio ambiente. Uno de los problemas principales de contaminación lo constituye el volumen de residuos vegetales, sustratos, lixiviados y plásticos

que esta genera y el uso indiscriminado de plaguicidas. Una inadecuada disposición de estos residuos, la quema incontrolada y la inexistencia de programas integrales de gestión para su manejo, reutilización y reciclado constituyen una amenaza biológica de primera magnitud para la sostenibilidad agrícola en este sistema de cultivo (Oviedo, 2004; Hernández *et al.*, 2006a).

Desde el punto de vista de un inadecuado manejo de la fertilización, se encuentran la contaminación de las aguas subterráneas por un ineficiente programa de fertirriego, la compactación, el incremento del pH de los suelos, la pérdida de materia orgánica y la acumulación de NO_3^- y metales pesados en frutos por encima de los límites permisibles (Hernández *et al.*, 2006a).

Por tales motivos, es evidente que hay mucho en juego al tomar decisiones en lo que respecta al manejo de los fertilizantes cuando se trata de cultivos de alto rendimiento, pues si bien es cierto que la absorción de nutrientes, se duplica o triplica con relación al sistema de campo abierto, con peligros potenciales y reales de contaminación, también es necesario reconocer la importancia de la fertilización mineral para lograr los rendimientos que se planifican (Dobermann *et al.*, 2005).

Una reciente revisión del tema, realizada por Dibb *et al.* (2005) y Stewart *et al.* (2005), concluyeron que por lo menos entre el 30 y el 50 % del rendimiento de los cultivos es atribuible a los nutrientes que se aplican mediante fertilizantes minerales. Mientras que Balken (2003), al estudiar los efectos sobre la salud humana y el medio ambiente de veintitrés productos fertilizantes, clasificados como amoniacales, nítricos, fosfatados y ácidos, concluyó que los fertilizantes industriales que se utilizan en las dosis y momentos correctos permiten garantizar una producción segura, saludable y ambientalmente sostenida.

Es por esto que en este tipo de agricultura de altos rendimientos se impone la aplicación de un modelo agrícola que privilegie las condiciones naturales del cultivo y restrinja de manera significativa el uso de fertilizantes sintéticos y de agroquímicos en general. En este sentido, Sáez (2002) y Prado (2007) plantean que la Producción Integrada será la agricultura del futuro a mediano plazo, tanto por las demandas actuales y futuras de los consumidores en cuanto a cantidad y garantías de salud y sanidad alimentaria, como por el sostenimiento de la propia producción agrícola; una agricultura que permite compatibilizar en todo momento la protección medioambiental, las exigencias de la sociedad y la productividad agrícola.

La Producción Integrada es un sistema que se apoya en un conjunto de procedimientos de trabajo certificables, conocido como Buenas Prácticas Agrícolas y de documentos normalizativos donde se definen acciones o prácticas de manejo agrícola obligadas, permitidas, restringidas y prohibidas que permiten a los productores mantener la confianza del consumidor en cuanto a la calidad, la seguridad de la cosecha y la minimización del deterioro ambiental (Benet, 2002).

Los productos obtenidos bajo este sistema tienen una preferencia creciente en los consumidores de los grandes mercados de la Unión Europea, Asia y América del Norte, lo cual asegura mayores posibilidades de comercialización que los productos convencionales. La Producción Integrada se desarrolla en Europa desde 1995 y en la actualidad representa el 65 % de la producción hortofrutícola de España y el 82 % de la de Austria; creciente interés muestran países como Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, Argentina, Uruguay y Chile (Prado, 2007).

En cuanto al manejo de la nutrición en condiciones de cultivo protegido dentro de un sistema de Producción Integrada, hay que señalar que una fertilización racional y el uso prudente de todas las tecnologías que la ciencia ha demostrado, benefician la producción y la conservación de los

suelos continúan siendo la forma más idónea para lograr una agricultura, de altos rendimientos, rentable, con productos de calidad y máximo respeto al medio ambiente (Bruulsema, 2006).

2.5. Demandas y avances de la investigación en el manejo de la nutrición en el cultivo protegido del tomate para las condiciones de Cuba.

La información disponible sobre el manejo de la fertilización en el cultivo protegido del tomate, para las condiciones edafoclimáticas de Cuba, es escasa y con antecedentes científicos limitados. En los diferentes Forum Tecnológicos, visitas de asistencia técnica y estudios de diagnóstico efectuados en estos últimos años, se han identificado los principales problemas que desde el punto de vista tecnológico, económico-productivo, organizativo y social afectan la sostenibilidad de la tecnología, así como la mayoría de las prioridades de investigación hacia las cuales deben estar dirigidos los objetivos de los Programas Nacionales y Ramales de Ciencia y Técnica existentes (Cuba MINAG, 2003; Cuba MINAG, 2005).

En lo que respecta a la nutrición y el fertirriego se identifican como demandas principales:

1. Definición de concentraciones y relaciones óptimas de nutrientes en la solución nutritiva por fenofases, tipo de suelo y épocas de siembra y en dependencia de las exigencias de calidad de los diferentes destinos.
2. Establecimiento de normas e indicadores de referencia para realizar el diagnóstico nutricional de los cultivos y el fortalecimiento de las capacidades analíticas existentes para los análisis de agua, suelo y planta.
3. Profundizar en estudios sobre la fisiología de las plantas que permitan generar conocimientos básicos para el perfeccionamiento de la tecnología.

4. Optimizar y elevar la eficiencia de la nutrición que permita obtener un menor impacto ambiental y mayor economía de la fertilización.
5. Aplicación de los conceptos del manejo integrado de la nutrición que promueva la sostenibilidad en el sistema de cultivo protegido.
6. Capacitación a productores, técnicos, docentes, investigadores y directivos.

Como aspecto importante en el manejo de la nutrición del tomate en casas de cultivo, se han desarrollado estudios de diagnóstico donde se identifican los problemas que desde el punto de vista de la fertilización, afectan la productividad de los sistemas protegidos.

En un estudio sobre los suelos Ferralíticos Rojos del sur de La Habana bajo explotación intensiva, Monedero *et al.* (2004) demostraron que el 96 % de ellos presentan problemas de salinidad secundaria de tipo sódico-cálcica y magnésico-cálcica, mientras que el 93,60 % poseían bajos tenores de materia orgánica. Estos autores encontraron además una disminución en el número total de bacterias, unidades formadoras de colonias de hongos y en la respiración asociada al tiempo de explotación de las casas de cultivo.

Por su parte, Alfonso *et al.* (2006) en un estudio de variabilidad espacial de la fertilidad en estos suelos concluyeron que se observa un agravamiento del proceso de degradación y un impacto ambiental negativo para la fertilidad de dicho sistema, expresado en: pérdida de materia orgánica, baja estabilidad estructural y una fuerte compactación, mientras que Cabrera *et al.* (2008) plantean que el rendimiento en el cultivo protegido del tomate para un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado eútrico se ve afectado por una inadecuada relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$.

Este impacto ambiental negativo de la tecnología se debe a un notable consumo de agroquímicos y a la explotación intensiva a que son sometidos los cultivos, expresión de una debilidad tecnológica cuyas probadas consecuencias son necesarias tomarlas en cuenta. Por tales motivos, se precisa potenciar la investigación en esta línea, de manera tal que se identifiquen prácticas de manejo nutricional, que permitan, con un enfoque integrador, reducir los peligros de contaminación que genera la tecnología.

En cuanto a los estudios de fertilización mineral, se distinguen las investigaciones realizadas por Pérez *et al.* (2004), quienes proponen como concentraciones normales de N, P y K en hojas indicadoras entre 3,60–4,40, 0,40–0,60 y 3,00–4,00 % respectivamente y recomiendan aplicar en un suelo Ferrítico Rojo Típico 600 kg P_2O_5 /ha. Castillo y Álvarez (2004) demostraron la importancia de la fertilización foliar con N, K, Ca, Mn, Mg y B para incrementar el rendimiento del tomate, cuando no se encuentran cubiertas sus necesidades.

Con relación a la caracterización de la absorción de nutrientes que realiza el cultivo del tomate en las diferentes etapas de crecimiento, hay que señalar que este tema no se ha abordado con toda su profundidad. Chailloux (2003) plantea que para obtener un rendimiento entre 205–217 t/ha en un suelo Ferralítico Rojo compactado, con los híbridos de tomate FA–180 y R–144, se requieren 247,23–271,57, 146,91–155,33 y 558,93–615,82 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

En estudios realizados en condiciones similares de suelo, Hernández *et al.* (2004) calcularon que en la época de verano, el híbrido HA 3105 de crecimiento indeterminado puede llegar a extraer, en los momentos de máximo consumo, hasta 33,61 g N/m², 4,20 g P/m², 64,81 g K/m², 57,79 g Ca/m² y 4,81 g Mg/m², para garantizar una producción de 5,50 kg/m².

En cuanto al cultivo “sin suelo”, Arozarena *et al.* (2004a) indicaron que es técnicamente viable la utilización de zeolitas naturales cubanas para la producción de tomate en sustrato. Como aspecto de manejo nutricional se definieron las soluciones nutritivas a utilizar bajo esta modalidad y que permiten rendimientos entre 14,78–24,00 kg/m² en cultivares de tomate indeterminados y de 4,39–5,36 kg/m² en híbridos determinados (Rosales *et al.*, 2002; Igarza *et al.*, 2004).

En la actualidad se estudian alternativas de nutrición a partir de la aplicación de abonos orgánicos, estimuladores del crecimiento, microorganismos biofertilizantes que, suministrados vía fertirriego, foliar o al suelo, posibilitan incrementar la productividad del cultivo.

De esta forma, Arozarena *et al.* (2004b) y Lino *et al.* (2004) plantean que el consumo de agroquímicos, asociados al manejo de la nutrición del tomate en el cultivo protegido sobre suelos Ferralíticos Rojos, puede disminuirse hasta un 25 %, mediante la aplicación de 7,50 kg/m² de materia orgánica, mientras que González *et al.* (2006), en un suelo Pardo sin Carbonato, encontraron que la aplicación de fosforina, *Azotobacter* y humus líquido favoreció la acumulación de macronutrientes en frutos, con rendimientos de 12,87 kg/m².

En un suelo Ferrítico Rojo, con bajos contenidos de P₂O₅ (15,08 mg/100 g), González *et al.* (2004) obtuvieron que, la combinación de 300 kg/ha de P₂O₅, 3,00 kg/m² de abono orgánico y 0,30 kg/m² de humus de lombriz permitió incrementar el rendimiento del cultivo y mejorar algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. Por su parte, Alfonso (2006) encontró que el suministro anual de 6 kg/m² de humus de lombriz aumentó la producción del tomate entre 17,88 y 24,33 % con relación a la no aplicación del abono orgánico, conjuntamente se observó un incremento de la densidad aparente del suelo.

Al evaluar diferentes productos bioactivos, Cawich (2008) obtuvo que el bioestimulante Liplant, a una concentración de 1/30 en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, incrementó la producción de frutos en las calidades extra y extra + primera, en 17,07 y 9,62 % respectivamente con relación al testigo, así como el contenido de vitamina C y la firmeza de los frutos; resultados similares obtuvieron Ruisánchez *et al.* (2008) en el híbrido FA 180.

Los resultados científicos acumulados distan mucho de satisfacer las demandas identificadas en el sector productivo en cuanto al manejo de la nutrición en el cultivo protegido del tomate para las diferentes condiciones de suelo y clima que caracterizan al trópico cubano. Las investigaciones sobre el tema deben intensificarse para disponer de resultados integrales que puedan ser transferidos a la producción.

La utilización de programas de fertilización racionales, a partir de soluciones nutritivas equilibradas según la época del año y la disponibilidad de indicadores de referencia para el diagnóstico nutricional, incrementarán el rendimiento y la calidad de los frutos en el cultivo protegido del tomate y servirán de base para el manejo integrado de la nutrición. Los resultados previstos en el presente estudio se encuentran en correspondencia con las demandas de investigación identificadas y elevarán el nivel de actualización científico-técnica de investigadores, profesionales, técnicos y productores vinculados a este sistema agrícola.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ensayos realizados.

Para cumplir con los objetivos propuestos se llevó a cabo el presente estudio en el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", en el Municipio de Quivicán, provincia La Habana, situado en los 22° 23' N y 82° 23' W y a una altura sobre el nivel del mar entre 9–11 m (Cuba IIHLD, 1997). La experiencia se realizó en una casa de cultivo modelo Tropical A–12 con efecto “sombrija”, de 540 m², una altura a la cumbre de 4 m, rafía plastificada en la parte superior, ventana cenital abierta y malla sombreadora (35 %) por los laterales y el frente (Casanova *et al.*, 2003).

El estudio constó de dos etapas, una experimental y una de validación (*Figura 1*). En la etapa experimental (6/09/2004–2/01/2007) se estudiaron cuatro soluciones nutritivas con diferentes relaciones N:K, en dos épocas de plantación; primavera–verano e invierno, con dos ensayos por época. Posteriormente, en una etapa de validación (17/03/2007–31/12/2007), se evaluaron las mejores soluciones nutritivas por época de estudio, incluyendo el testigo de producción, la relación N:K 1:2.5 según Casanova *et al.* (2003).

3.2. Condiciones de investigación, comunes para la etapa experimental y de validación.

3.2.1. Suelo y clima.

Los experimentos se establecieron en un suelo Ferralítico Rojo típico, según la Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2000), o Ferralsol Rhodic en correlación con el World Reference Base for Soil Resources (Driessen *et al.*, 2001; Hernández *et*

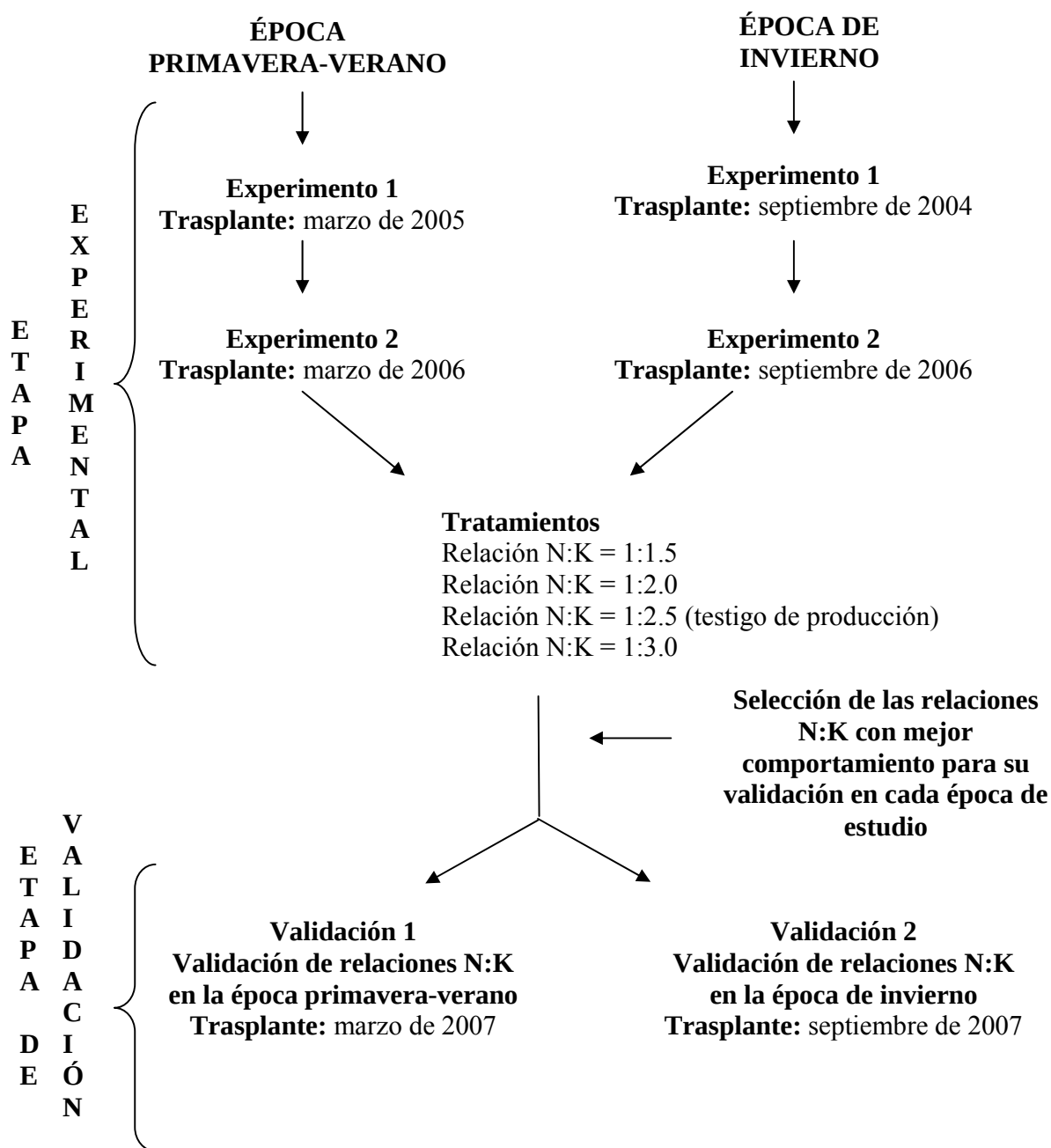


Figura 1. Descripción de los experimentos ejecutados y tratamientos estudiados en la etapa experimental y en la etapa de validación.

al., 2006b). Se realizó un muestreo de suelo al inicio de las etapas experimental y de validación a 20 cm de profundidad (Cuba MINAG, 1987). Se dividió la instalación en nueve cuadrantes de 60 m² y en cada uno se tomaron seis submuestras para conformar una muestra compuesta de 2,50 kg de suelo. La caracterización química del suelo aparece en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Características químicas del suelo al inicio de la etapa experimental y de validación.

Características	Etapa experimental		Etapa de validación	
	Fecha de muestreo: 1/09/2004		Fecha de muestreo: 15/03/2007	
pH H ₂ O	7,51		7,95	
pH KCl	7,12		7,61	
MO (%)	2,33		1,84	
P ₂ O ₅ (mg/100g)	66,44		125,49	
K ₂ O (mg/100g)	62,87		65,38	
K ⁺ (cmol/kg)	1,72		1,69	
Ca ⁺⁺ (cmol/kg)	13,93		13,72	
Mg ⁺⁺ (cmol/kg)	1,48		1,41	
Na ⁺ (cmol/kg)	0,23		0,31	
K ⁺ /Mg ⁺⁺	1,16		1,06	
K ⁺ /Ca ⁺⁺	0,12		0,11	
Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	9,41		9,73	
K ⁺ /Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	0,11		0,10	

El suelo posee un pH ligeramente alcalino, altos contenidos de P₂O₅ y K₂O y bajos en materia orgánica. El K⁺ y el Ca⁺⁺ intercambiable fueron altos, el Mg⁺⁺ medio y el Na⁺ bajo. Se considera alta la relación K⁺/Mg⁺⁺ (>0,60) y adecuadas las relaciones K⁺/Ca⁺⁺ (<0,30) y Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ (5–10). La relación K⁺/Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ fue deficiente (<0,60) (Cuba MINAG, 1987; Casanova *et al.*, 2003).

Se registraron, en el interior y exterior de la instalación, las temperaturas máxima, mínima y media diaria (°C), con un termómetro ubicado en una caseta meteorológica a una altura del suelo de 1,50 m, así como la humedad relativa (%) y la radiación solar (J/m²/s) entre las 12.00 m. y 1.30 p.m., tres veces a la semana con un termohigrógrafo digital modelo EM-913 y un luxómetro digital modelo Faithful FT-710, respectivamente. Las temperaturas máxima, mínima

y media se ubican fuera de los rangos óptimos necesarios para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo en plantas de tomate (20–26 °C durante el día y 14–20 °C en la noche) (Tabla 2), con excepción de la temperatura mínima, en las fases IV y V de la época de invierno y en las fases I y II de la época primavera-verano.

La humedad relativa se encuentra dentro de lo permisible para esta hortaliza (60–80%) y en el caso de la radiación solar sólo se cuantificaron valores recomendables para el cultivo en el interior de la instalación (150–200 J/m²/s), en las fases IV y V de la época primavera-verano y en el exterior, durante la fase I de la época de invierno (Álvarez, 2002; León, 2006). En el Anexo A1 se presentan las variables de clima para cada experimento efectuado.

Tabla 2. Valores promedios de las variables de clima en el interior (I) y exterior (E) de la instalación por fases de crecimiento en el cultivo del tomate, híbrido HA 3019.

Época	Fases	Temperatura (°C)						Humedad relativa (%)		Radiación solar (J/m ² /s)	
		Máxima		Mínima		Media					
		I	E	I	E	I	E	I	E	I	E
Primavera - verano	I	33,11	30,91	20,42	19,66	27,56	26,02	66,26	63,74	99,21	121,39
	II	34,44	33,10	19,45	18,25	26,29	24,94	71,43	65,89	109,56	129,84
	III	34,82	33,53	23,09	22,17	29,46	28,02	75,20	68,19	114,39	135,23
	IV	36,03	34,72	23,64	23,08	30,17	29,05	72,53	66,25	150,26	172,13
	V	37,12	35,08	25,08	23,96	31,23	29,38	73,01	65,32	155,17	192,59
Invierno	I	36,75	34,73	23,40	22,83	30,08	28,78	65,39	61,30	106,86	160,66
	II	35,83	34,56	22,74	21,77	29,29	28,16	66,18	56,98	90,18	136,68
	III	34,40	33,19	21,87	21,13	28,14	27,16	65,27	55,94	67,75	107,03
	IV	31,46	30,19	19,65	18,76	25,55	24,47	65,29	57,58	60,82	97,15
	V	29,16	28,64	15,64	14,94	22,40	21,79	67,36	62,22	54,23	88,82

3.2.2. Cultivar utilizado, producción de plántulas y manejo agronómico.

Se utilizó, como material vegetal, el híbrido comercial de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) HA 3019 de procedencia israelí, crecimiento determinado y recomendado para instalaciones con

efecto invernadero y de sombrilla. Es un cultivar de ciclo corto, de 100 a 120 días, los frutos poseen una masa promedio entre 170–200 g y un rendimiento promedio, para el trópico cubano, entre 60–80 t/ha. Posee tolerancia a *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporium* Raza 0 y al virus del mosaico del tabaco TMV, así como alta tolerancia al virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate o TYCLV (Casanova *et al.*, 2003).

La producción de plántulas se realizó en cepellones, en una instalación modelo Tropical A–12, con una superficie de 180 m² y cerramiento total con malla anti–insectos, en bandejas cubanas de poliestireno expandido con 247 alvéolos de 32,50 cm³ de volumen. Se utilizó como sustrato una mezcla de 90 % de humus de lombriz + 10 % de cascarilla de arroz (*Anexo A2*), enriquecido con 1g/kg de sustrato de la fórmula 9–45–15. El riego se efectuó dos veces al día por cinco minutos, con un sistema de microaspersión aérea y una entrega en los goteros de 36 L/h (Casanova *et al.*, 2002).

El trasplante se realizó a los 25 días después de la siembra de las semillas, en canteros planos de 180 cm de ancho y 15 cm de altura. Se utilizaron plántulas con una altura entre 12–14 cm, de 3–4 hojas verdaderas y con un grosor del tallo mayor a 3,00 mm. El esquema de plantación empleado fue el de doble hilera, separadas a 60 cm con una distancia entre plantas de 50 cm, que representa una densidad de población de 2 plantas/m² (Casanova *et al.*, 2003).

El manejo de la planta se efectuó dejando un hijo seguidor por debajo del primer racimo del tallo principal, a este hijo seguidor se le deja también el hijo por debajo de su primer racimo y así sucesivamente (Casanova *et al.*, 2003; Pérez y Cruz, 2004). El control de los organismos plagas se basó en prácticas de saneamiento, biofumigación, solarización, selección negativa y aplicación de productos bioactivos y químicos (*Anexo A3*).

3.2.3. Riego, calidad del agua de riego y fertirriego.

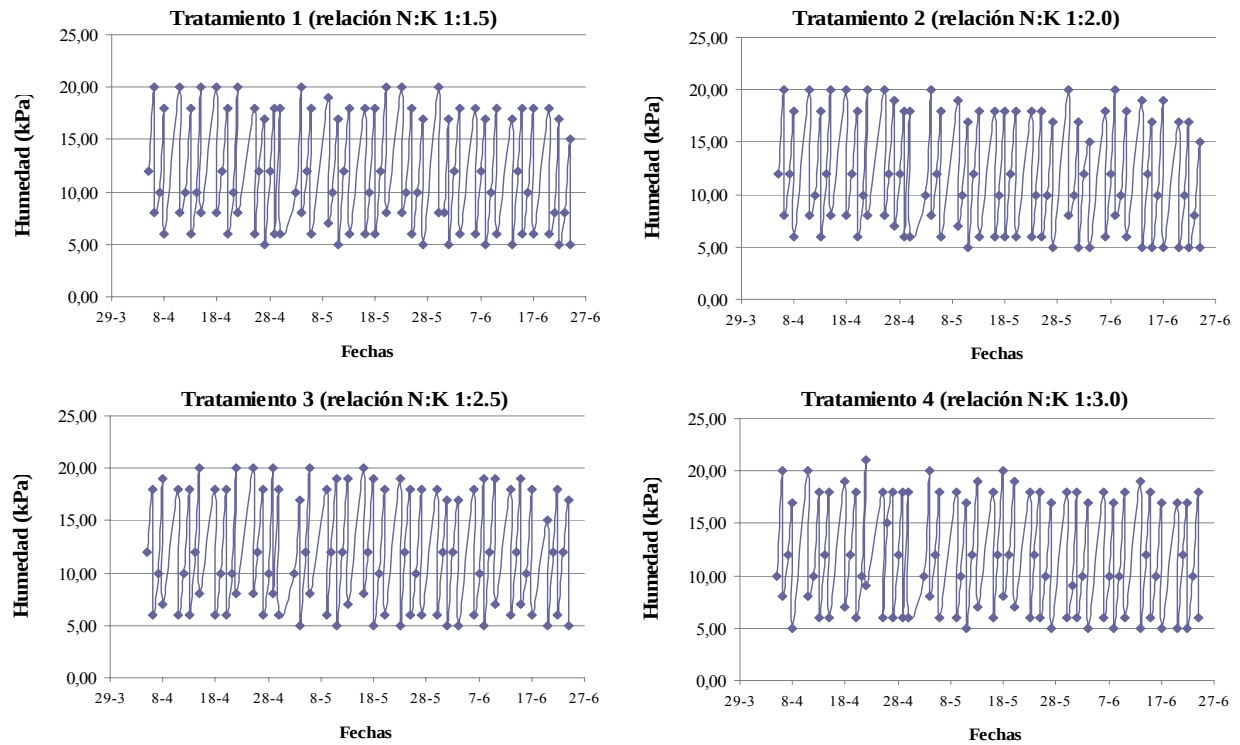
Las necesidades hídricas de la plantación se garantizaron con un sistema de riego por goteo. Para ello se colocaron, en cada cantero, dos mangueras de PVC negro de 16 mm de espesor, goteros a 0,45 cm y con una entrega de 2,50 L/hora. El sistema de riego utilizado presentó una eficiencia y uniformidad de entrega de 96,90 %, la cual se considera adecuada según Igarza y Pupo (2005). Previo al trasplante se efectuó un riego abundante y uniforme (20 m³) que garantizó el humedecimiento total de la superficie.

Al día siguiente del trasplante se aplicó un riego a razón de 0,50 L/planta, con H₃PO₄ al 85 % a razón de 136 mL de ácido/m³ de agua. Posteriormente se sometió la plantación a un período de estrés hídrico entre 10 y 15 días con el objetivo de favorecer el desarrollo radical de la planta. Para reiniciar el riego se tuvo en cuenta la humedad del suelo y el estado hídrico de la plantación según lo recomendado por Casanova *et al.* (2003).

Para decidir el momento del fertirriego a partir de la fase II se ubicó, en cada tratamiento, un tensiómetro, medidor del potencial matricial del suelo en un rango de 0 a 100 kPa, modelo IROMETER, a una profundidad de 20 cm y a una distancia de 10 cm de la planta y del emisor. Se realizaron dos lecturas diarias, a las 8.00 a.m. y a las 12.00 m. La humedad para cada tratamiento se presenta en la *Figura 2* y el fertirriego se efectuó cuando el potencial hídrico fue superior a 15 kPa (Casanova *et al.*, 2003; Igarza y Pupo, 2005).

En la *Tabla 3* aparece la dosis de riego utilizada por fases y épocas de estudio, la duración de las fases de crecimiento del cultivo por experimentos, así como la cantidad de días que se cubrieron con el fertirriego. La fase I se enmarcó desde el trasplante hasta la emisión del primer racimo

Época primavera-verano



Época de invierno

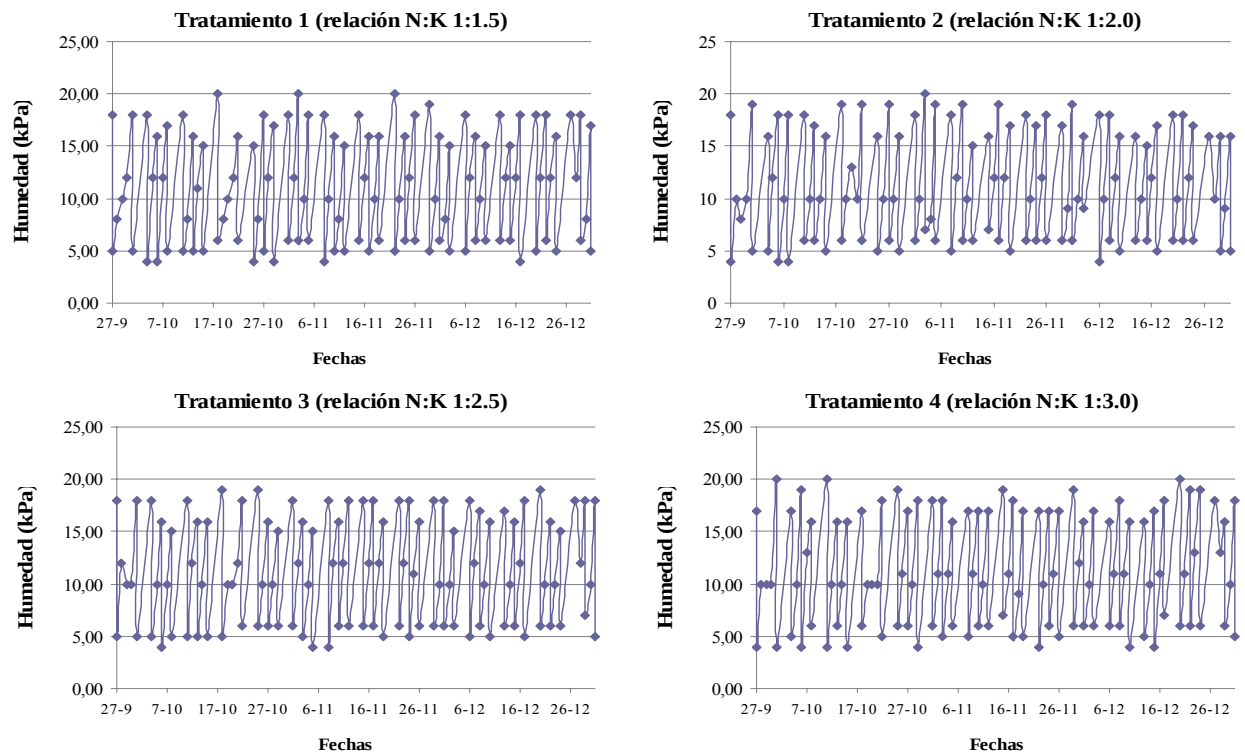


Figura 2. Tensión de humedad en el suelo a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate para cada tratamiento y época de plantación.

floral, la fase II de emisión del primer racimo floral al cuaje del tercer racimo, la fase III desde el cuaje del tercer racimo al inicio de cosecha, la fase IV de inicio de cosecha a plena producción y la fase V de plena producción al final de la plantación.

Tabla 3. Dosis de riego, duración de las fases de crecimiento (DFC) y cantidad de días cubiertos con el fertirriego (DCF) en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Época	Fases	Dosis de riego (L/planta/día)	Experimento 1		Experimento 2		Validación	
			DFC (días)	DCF (días)	DFC (días)	DCF (días)	DFC (días)	DCF (días)
Primavera - verano	I	0,60	19	3	19	3	18	3
	II	0,85	21	21	20	20	20	20
	III	1,20	20	20	20	18	22	19
	IV	1,70	36	35	32	32	35	35
	V	1,20	10	9	9	9	9	7
	Total		106	88	100	82	104	84
Invierno	I	0,50	21	3	20	3	22	3
	II	0,70	20	17	20	17	24	19
	III	1,00	23	22	20	21	21	19
	IV	1,40	41	39	40	39	42	40
	V	1,00	15	14	10	10	10	10
	Total		120	95	110	90	119	91

Se realizaron dos muestreos de agua en cada experimento, al inicio de las fases II y IV. Se determinó la concentración de aniones y cationes (mmol/L), la CE (mS/cm) y el pH (*Anexo A4*). Según las Normas Riverside (USA USSS, 1954). El agua de riego se clasifica como C₂S₁ (salinidad media, bajo contenido de sodio y apta para el riego). Se considera además un agua neutra a levemente alcalina (pH entre 7,00 y 7,50) y dura por su alto contenido de HCO₃⁻ (>2,50 mmol/L), Ca⁺⁺ (>1,07 mmol/L) y Mg⁺⁺ (>0,75 mmol/L) (Rottenberg, 2006).

El cálculo de los aportes de fertilizantes (g/m³) se efectuó teniendo en cuenta la concentración de HCO₃⁻, K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en el agua de riego y el balance de las soluciones nutritivas comenzó con la neutralización de los iones HCO₃⁻ hasta garantizar una concentración de 0,50 mmol/L. Se utilizó una bomba inyectora, modelo AMIAD a razón de 2 L/min.

Se utilizaron los siguientes portadores: H_3PO_4 (1040,00 g $\text{P}_2\text{O}_5/\text{L}$), HNO_3 (145,30 g N/L), NH_4NO_3 (34,80 % de N, 17,50 % de N nítrico y 17,30 % amoniacal), KNO_3 (12 % de N nítrico, 45 % de K_2O y 1,20 % de SO_4), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (26 % de CaO, 14,50 % de N nítrico y 1,00 % de N amoniacal), K_2SO_4 (50 % de K_2O y 54 % de SO_4), MgSO_4 (16 % de MgO y 39 % de SO_4) y Premiun Quelato (0,05 % de B, 0,05 % de Cu, 4,00 % de Fe, 2,00 % de Mn, 0,01 % de Mo y 1,00 % de Zn) a razón de 50 g/m³, una vez por semana.

3.3. Etapa experimental.

3.3.1. Tratamientos y diseño experimental.

Durante esta etapa se estudiaron cuatro soluciones nutritivas, que se diferenciaron fundamentalmente en su relación N: K_2O (N:K) en términos de mg/L (Tabla 4). Los tratamientos se diseñaron a partir de un testigo de producción (N:K 1:2.5) y fueron los siguientes: T1. Relación N:K 1:1.5; T2. Relación N:K 1:2.0; T3. Relación N:K 1:2.5 y T4. Relación N:K 1:3.0.

Tabla 4. Concentración de nutrientes (mg/L) en la solución fertilizante por tratamientos y épocas de estudio en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Fases	Tratamientos (N:K)	Época primavera - verano					Época de invierno				
		N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
I	T1, T2, T3 y T4	0	152	0	0	0	0	152	0	0	0
II	T1, T2, T3 y T4	90	95	90	111	26	108	114	108	134	32
III y V	T1. 1:1.5	134	95	200	119	28	161	114	240	143	34
	T2. 1:2.0	134	95	267	159	38	161	114	320	191	46
	T3. 1:2.5	134	95	334	199	47	161	114	400	239	57
	T4. 1:3.0	134	95	400	238	57	161	114	480	286	68
IV	T1. 1:1.5	155	95	235	140	33	189	114	285	170	40
	T2. 1:2.0	155	95	313	187	44	189	114	380	227	54
	T3. 1:2.5	155	95	392	234	56	189	114	475	284	68
	T4. 1:3.0	155	95	470	279	66	189	114	570	339	81

En las fases I y II del ciclo del cultivo se aplicó la fertilización recomendada por Casanova *et al.* (2003) y los tratamientos se aplicaron a partir del inicio de la fase III y hasta el final de la

plantación. La concentración de N fue igual en todos los tratamientos y para evitar efectos antagónicos entre los cationes se varió la concentración de Ca y Mg en función de la del K, manteniendo una relación $K_2O/CaO + MgO$ de 1,36 (Casanova *et al.* 2003; Moreno, 2007). En la *Tabla 5* se reflejan las dosis de nutrientes que recibió cada tratamiento por época de estudio.

Tabla 5. Dosis total de nutrientes (kg/ha) que recibió el cultivo del tomate en cada experimento y tratamiento estudiado, se incluyen los aportes del agua de riego.

Experimentos/ tratamientos (N:K)		Época primavera - verano					Época de invierno				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	T1. 1:1.5	287,60	204,31	417,41	269,06	63,33	348,01	238,26	509,72	320,49	75,78
	T2. 1:2.0	287,60	204,31	545,69	346,12	81,78	348,01	238,26	671,06	417,30	99,70
	T3. 1:2.5	287,60	204,31	675,06	423,17	100,67	348,01	238,26	832,40	514,10	122,91
	T4. 1:3.0	287,60	204,31	802,69	497,40	118,03	348,01	238,26	993,74	608,00	145,03
2	T1. 1:1.5	309,84	218,56	450,98	289,05	68,04	331,91	226,86	485,72	306,19	72,38
	T2. 1:2.0	309,84	218,56	590,43	372,82	88,09	331,91	226,86	639,06	398,20	95,10
	T3. 1:2.5	309,84	218,56	731,07	456,59	108,63	331,91	226,86	792,40	490,20	117,21
	T4. 1:3.0	309,84	218,56	869,83	537,29	127,49	331,91	226,86	945,74	579,40	138,23

El área experimental constó de seis canteros, con dos líneas de goteros cada uno y los tratamientos se ubicaron en los cuatro canteros centrales, con un área de borde lateral de 72 m² (1,80 m de ancho y 40,00 m de largo) y un área de borde frontal y final de 30 m² (2,50 m de ancho y 12,00 m de largo). Cada tratamiento se ubicó en un cantero y cada cantero se dividió en cuatro parcelas o réplicas en el sentido longitudinal de la instalación. La parcela evaluable fue de 18 m² (1,80 m de ancho y 10,00 m de longitud) con un total de 40 plantas/parcela.

Se determinó, a partir de la fase II del ciclo del cultivo y una vez en cada fase, la conductividad eléctrica (CE) y el pH en la solución fertilizante (*Tabla 6*). La solución nutriente, correspondiente a todo el fertirriego, se colectó en recipientes colocados debajo de los goteros. Para la caracterización de la solución del suelo (tres veces por semana) se colocó una sonda de succión por tratamiento a 10 cm de la planta y del gotero y a una profundidad de 20 cm.

Se efectuó un vacío dos horas después del riego, con un vacuómetro hasta alcanzar la presión de 75 centibares, la muestra de agua se extrajo al día siguiente con una jeringuilla propia del equipo.

Tabla 6. Valores promedios de conductividad eléctrica (CE) y de pH en la solución fertilizante (SF) y en la solución del suelo (SS) obtenidos con la nutrición diseñada para cada tratamiento estudiado.

Época	Fases	Tratamientos (N:K)	CE SF (mS/cm)	CE SS $\pm$ Esx (mS/cm)	pH SF	pH SS $\pm$ Esx
Primavera - verano	I	T1, T2, T3 y T4	-	-	-	-
		T1, T2, T3 y T4	1,21	$1,32 \pm 0,539$	6,30	$7,21 \pm 0,103$
	II	T1. 1:1.5	1,62	$1,20 \pm 0,574$	6,30	$7,16 \pm 0,119$
		T2. 1:2.0	1,76	$1,82 \pm 0,487$	6,25	$7,23 \pm 0,115$
		T3. 1:2.5	1,93	$2,34 \pm 0,262$	6,32	$7,20 \pm 0,077$
		T4. 1:3.0	2,15	$3,03 \pm 0,208$	6,20	$7,30 \pm 0,129$
		T1. 1:1.5	1,63	$1,41 \pm 0,427$	6,15	$7,01 \pm 0,093$
	IV	T2. 1:2.0	1,94	$2,43 \pm 0,236$	6,17	$7,20 \pm 0,017$
		T3. 1:2.5	2,17	$2,90 \pm 0,369$	6,25	$7,23 \pm 0,105$
		T4. 1:3.0	2,52	$3,15 \pm 0,312$	6,30	$7,20 \pm 0,091$
Invierno	I	T1, T2, T3 y T4	-	-	-	-
		T1, T2, T3 y T4	1,31	$1,45 \pm 0,293$	6,14	$7,19 \pm 0,101$
	II	T1. 1:1.5	1,79	$1,53 \pm 0,301$	6,23	$7,22 \pm 0,089$
		T2. 1:2.0	2,06	$1,99 \pm 0,344$	6,30	$7,12 \pm 0,123$
		T3. 1:2.5	2,26	$2,42 \pm 0,421$	6,20	$7,28 \pm 0,071$
		T4. 1:3.0	2,53	$3,25 \pm 0,235$	6,10	$7,10 \pm 0,056$
		T1. 1:1.5	1,93	$1,76 \pm 0,333$	6,15	$7,20 \pm 0,112$
	IV	T2. 1:2.0	2,28	$2,33 \pm 0,082$	6,20	$7,30 \pm 0,089$
		T3. 1:2.5	2,60	$2,82 \pm 0,191$	6,30	$7,20 \pm 0,116$
		T4. 1:3.0	3,07	$3,54 \pm 0,159$	6,12	$7,20 \pm 0,106$

3.3.2. Evaluaciones realizadas.

3.3.2.1. Crecimiento de las plantas.

Altura de la planta (cm). A 10 plantas por réplica a los 15, 30, 45, 60 y 75 días después del trasplante (ddt) con regla graduada desde el cuello del tallo hasta el ápice de la planta.

Masa seca total y por órganos (g/m²): Se determinó en el momento del trasplante y al final de las fases I, II, III y IV del ciclo del cultivo. Se seleccionaron cuatro plantas al azar por evaluación y tratamiento, las que se dividieron en raíz, tallo, hojas y frutos; cada planta constituyó una

repetición. Las muestras se secaron en una estufa a 65 °C hasta peso constante y la masa seca (g) se determinó en balanza técnica. Las fracciones que se obtuvieron del deshoje y del deshije en 10 plantas, se incorporaron a la fracción de hojas de la fase de crecimiento en que se encontraba el cultivo; se adicionó también la fracción de frutos recolectados entre muestreos.

3.3.2.2. Rendimiento y sus componentes.

Durante el desarrollo del cultivo se efectuaron entre 9 y 12 cosechas y el período de recolección tuvo una duración entre 41–46 días (época primavera–verano) y 50–56 días (época de invierno). Se realizaron las siguientes evaluaciones:

Componentes del rendimiento: Se cuantificó el número de frutos totales por planta (u) y a una muestra de 10 frutos por réplica, tomada al azar en cada cosecha, se le determinó la masa promedio del fruto (g), en balanza técnica, el diámetro ecuatorial promedio (cm) y el diámetro polar promedio (cm), con un pie de rey.

Rendimiento (t/ha) y estructura del rendimiento por calidades (%): Se determinó el rendimiento individual en las categorías de calidad extra (diámetro ecuatorial del fruto > 75 mm con una tolerancia de defectos totales de 3 %), primera (entre 65–74 mm y 5 %), extra + primera y segunda (entre 55–64 mm y 10 %), mientras que el rendimiento total se calculó sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela. Se determinó, además, el porcentaje del rendimiento que cada una de las calidades representa de la producción total.

En los defectos totales se incluye una tolerancia de diámetro de 3 % en los frutos extra y primera y de 5 % en los de segunda, el resto corresponde a otros defectos como deformación, defectos de la epidermis, daños cicatrizados de 10–30 mm de longitud, entre otros (Cuba MINAG, 2001).

3.3.2.3. Calidad externa y bromatológica en frutos.

Se efectuaron dos muestreos de frutos en la quinta y séptima cosecha, coincidiendo con el período de plena producción. Se tomó, al azar en cada parcela, una muestra de 27 frutos en estado de madurez rojo y se determinaron las siguientes variables de calidad externa:

Firmeza del fruto (N): Se determinó con un medidor de fuerza, penetrómetro modelo BERTUZZI, de puntal cilíndrico, colocado de manera horizontal y con penetración de 10 mm. La penetración se realizó en la zona ecuatorial del fruto (Cuba IIHLD, 2001a).

Color de la epidermis: Se utilizó la carta de colores de la Empresa Española Western Seed con una escala del 1 al 12.

Grosor del mesocarpio y diámetro del endocarpio (mm): Se realizó un corte longitudinal por la parte central del fruto y se determinaron con pie de rey.

Presencia de anomalías en la coloración interna (%): Se determinó el porcentaje de frutos que poseían alguna afectación por decoloraciones internas.

Frutos fuera de norma (%): Se cuantificó el porcentaje de frutos que no cumplían con las especificaciones de calidad correspondientes (Cuba MINAG, 2001).

A la muestra de frutos procedentes de estas evaluaciones se le determinó las variables de calidad bromatológica: materia seca (MS) (%), pH, sólidos solubles totales (SST) (°Brix), acidez titulable (AT) (%), relación SST/AT, vitamina C (mg/kg), NO_3^- (mg/100 g) y N, P y K (%).

3.3.2.4. Conservación postcosecha en frutos.

Para la conservación postcosecha se tomaron, al azar en cada parcela, 12 frutos de calidad extra en la cuarta y sexta cosecha con un grado de madurez breaker, escala 4 en la carta de colores de la Western Seeds, que indica un cambio definitivo de color de verde o amarillo bronceado a rosado o rojo en no más del 10 % de la superficie del fruto.

Posteriormente se lavaron con agua destilada, se secaron con papel de filtro y se introdujeron en envases de cartón aireados (Cuba IIHLD, 2001b). Los envases se almacenaron a 23 °C de temperatura y 68 % de humedad relativa. Se determinaron los porcentajes de pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) a los 7, 12, 17 y 22 días postcosecha.

Los cálculos se realizaron mediante la siguiente ecuación: $PMAF = [(Mi - Mf) / Mi] \times 100$, donde: Mi: Masa inicial del fruto en la cosecha (g) y Mf: Masa del fruto en cada evaluación realizada (g). Se cuantificaron además los porcentajes de pérdidas por daños microbiológicos (PDM), cuyo principal agente causal fue *Antracnosis sp.* (Cuba IIHLD, 2001c).

3.3.2.5. Estado nutricional de la planta.

Absorción de N, P, K, Ca y Mg (g/m²): Se determinaron, en cada órgano de la planta y al final de las fases de crecimiento I, II, III y IV, los contenidos de N, P, K, Ca y Mg. Estos análisis se realizaron en las plantas provenientes de la evaluación de masa seca descrita en el acápite 3.3.2.1. La absorción se calculó a partir de la siguiente fórmula: $Q = B \times EMS / 100$, donde Q: absorción (g/m²), B: Biomasa (g/m²) y EMS: porcentaje del elemento en materia seca (%) (Mijailov y Kniper, 1971). La absorción total fue la resultante de la suma de la absorción calculada en cada órgano de la planta.

Concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas indicadoras (%): Se tomó una muestra en cada réplica conformada por 30 hojas de la cuarta y quinta hoja más desarrollada a partir del ápice de la planta, en ocho momentos del ciclo del cultivo. Los dos primeros muestreos se realizaron al final de las fases de crecimiento I y II, mientras que a partir de la fase III se efectuaron cada 12 días; se hizo coincidir siempre un muestreo con el final de las fases III, IV y V. Las muestras se secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante y se les determinó el porcentaje de nutrientes en base a la materia seca.

Rango Crítico de Nutrientes (RCN): Se determinó el RCN para el N, el K y la relación N:K en hojas indicadoras. El RCN se definió entre el inicio de la fase III del ciclo del cultivo (cuaje del tercer racimo) y el período de plena producción, correspondiente a los 40, 52, 60, 74 y 84 ddt para la época primavera-verano y a los 43, 53, 64, 76 y 88 ddt en la época de invierno.

No se tuvieron en cuenta los datos cuantificados al final del período de plena producción y final del ciclo del cultivo debido a que sería mínima la influencia de cualquier corrección nutricional pues la plantación estaría culminando su ciclo. Se empleó la siguiente metodología de trabajo descrita por Dow y Roberts (1982):

1. Determinación del rendimiento relativo ($\text{rendimiento real} / \text{rendimiento máximo} \times 100$).
2. Ecuaciones y coeficientes de determinación que caracterizan la relación entre la concentración foliar de N, K y relación N:K para cada momento de muestreo y el rendimiento relativo del cultivo en las dos épocas de estudio, a partir de una función polinómica de segundo orden.
3. Estimación de la concentración foliar de N y K (%) y la relación N:K al rendimiento máximo y al 90 % del mismo en cada momento de muestreo.

4. Los valores estimados en cada muestreo para un 90 y 100 % del rendimiento, se utilizaron para definir las curvas y ecuaciones que delimitan el RCN en el período muestreado.

3.3.3. Procesamiento estadístico utilizado en la etapa experimental.

Para el procesamiento estadístico de la información se realizaron, en cada época de estudio y variables evaluadas un Análisis de Varianza de clasificación doble sin interacción. Se valoró el cumplimiento de los supuestos básicos del Análisis de Varianza; la normalidad mediante los estadígrafos de asimetría y de curtosis estandarizados y la homogeneidad de varianza por la dócima de Bartlett (Cochran y Cox, 1999).

Después de esta valoración se transformaron las variables que no cumplieron con estos supuestos; el porcentaje de frutos fuera de norma ($\sqrt{x}$), las pérdidas por daños microbiológicos a los 17 y 22 días postcosecha ($1/y$) y el color de la epidermis ($\sqrt{x}$). Para las transformaciones de los datos se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas en el paquete estadístico Statgraphics versión 5.0 (USA SGC, 2000). Posteriormente se corroboró el cumplimiento de la normalidad y la homogeneidad de varianza. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0,05 en los casos que fue necesario.

La evolución en el tiempo de la altura, la biomasa y la absorción de nutrientes se ajustó al modelo sigmoideal propuesto por Flórez *et al.* (2006), con la función logística $Y = \alpha / (1 + e^{-k(1-\gamma)})$ (α : máximo valor de la variable, k : constante que determina la pendiente de la curva y γ : tiempo en días de mayor tasa de crecimiento o absorción). Se utilizó el programa SigmaPlot versión 8.02 (USA SPSS, 2002a).

La respuesta del cultivo a las relaciones N:K estudiadas en cuanto a rendimiento se ajustó con una función polinómica de segundo orden. Se determinó la primera derivada de la función y se igualó posteriormente a cero para estimar la relación N:K donde se alcanza el óptimo biológico (máximo rendimiento) (Duque y Mestre, 2001).

Se realizó un Análisis Factorial Discriminante para conocer si el conjunto de las variables de calidad externa y postcosecha contribuyeron a la diferenciación de los tratamientos estudiados (Hair *et al.*, 1999; Peris *et al.*, 2005). Se utilizó el programa SPSS versión 11.5 (USA SPSS, 2002b).

3.4. Etapa de validación.

3.4.1. Tratamientos, diseño experimental y evaluaciones realizadas.

Se validaron, en cada época de estudio, las relaciones N:K que presentaron el mejor comportamiento durante la fase experimental, garantizando siempre la presencia del testigo de producción (N:K 1:2.5). Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres réplicas y la parcela de evaluación fue de 63 m² (1,80 m de ancho y 35,00 m de longitud) con un total de 140 plantas. Las dosis totales de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO que recibió cada tratamiento aparecen en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Dosis total de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO aplicada al cultivo del tomate en cada experimento y tratamiento estudiado, se incluyen los aportes del agua de riego.

Época	Tratamientos (N:K)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		(kg/ha)				
Primavera - verano	T1. 1:2.0	308,40	206,15	586,35	380,23	95,18
	T2. 1:2.5	308,40	206,15	724,96	463,17	114,00
Invierno	T1. 1:2.0	342,61	222,05	656,87	415,18	98,84
	T2. 1:2.5	342,61	222,05	813,53	509,01	121,10

Evaluaciones en el cultivo: Número de frutos por planta (u), masa promedio del fruto (g), rendimiento por calidades (extra, primera, extra + primera y segunda) y rendimiento total (t/ha), firmeza del fruto (N), frutos fuera de norma (%), materia seca (%), sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (%), pH, vitamina C (mg/kg) y conservación postcosecha. Las evaluaciones se realizaron según lo descrito en la etapa experimental.

Caracterización de la solución fertilizante: Se efectuó una vez, en las fases de crecimiento II, III y IV, en el tratamiento que presentó el mejor comportamiento por época de estudio. Se determinó la CE (mS/cm), el pH y la concentración de NO_3^- , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} (mmol/L).

Caracterización de la solución del suelo: Se colocó, en el tratamiento donde se evaluó la solución fertilizante, un juego de ocho sondas de succión para caracterizar la solución del suelo en cuanto a CE (mS/cm), pH y concentración de NO_3^- , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} (mmol/L).

3.4.2 Procesamiento estadístico para la etapa de validación.

Se realizaron Análisis de Varianza de clasificación doble. Se comprobó la normalidad mediante los estadígrafos de asimetría y de curtosis estandarizados, así como la homogeneidad de varianza con la dócima de Bartlett (Cochran y Crox, 1999). Se transformaron las variables porcentaje de frutos fuera de norma ($\sqrt{x}$) y pérdidas por daños microbiológicos a los 17 días postcosecha ($1/y$).

Posteriormente se corroboró el cumplimiento de los supuestos del Análisis de Varianza. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics versión 5.0 (USA SGC, 2000). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0,05.

3.5. Análisis económico.

El enfoque económico concebido se fundamenta, en el efecto que sobre el rendimiento de calidad extra, primera y segunda pueden tener las relaciones N:K estudiadas, para analizar a partir del valor de la producción y su costo (se incluye el de la fertilización utilizada para cada tratamiento) la ganancia y la rentabilidad que se obtienen con el incremento del rendimiento. Para la valoración económica de los resultados se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1984) y se utilizaron las variables propuestas por Chailloux (1990).

Valor de la producción (VP) (CUC/ha): Rendimiento por el precio de 1 kg de frutos de tomate en las categorías de calidad extra, primera y segunda.

Ganancias (G) (CUC/ha): Valor de la producción menos el costo de producción de una hectárea.

Rentabilidad (R): Cociente entre la ganancia y el costo de producción de una hectárea.

Costo por peso de producción (C/P): Cociente entre el costo y el valor de la producción en una hectárea.

Valor del incremento del rendimiento (VIR) (CUC/ha): Diferencia entre el valor de la producción de el tratamiento base (N:K 1:2.5) y el resto de los tratamientos.

Se utilizó como base de cálculo el listado de precios que aparece en la *Tabla 8*, suministrado por el Ministerio de Finanzas y Precios (Cuba MFP, 2008) y por la Empresa Importadora de Productos Químicos de Cuba (Quiminport) (Cuba MINBAS, 2008). La cantidad de fertilizantes que recibió cada tratamiento aparece en el *Anexo A5* y en el *Anexo A6* se refleja la ficha de precios para un ciclo de tomate (Cuba MINAG, 2008b).

Tabla 8. Base de cálculo utilizada para realizar la valoración económica de los resultados.

Indicadores	Unidad de medida	Precios	
		CUC	MN
PRODUCCIÓN			
Tomate calidad extra para los meses de mayo a diciembre	kg	6,00	-
Tomate calidad primera para los meses de mayo a diciembre	kg	4,24	-
Tomate calidad segunda para los meses de mayo a diciembre	kg	2,30	-
Costo de producción de 1 kg de tomate (marzo a agosto)	kg	0,56	3,54
Costo de producción de 1 kg de tomate (septiembre a febrero)	kg	0,31	2,14
FERTILIZANTES			
HNO ₃	L	0,19	0,20
H ₃ PO ₄	L	1,40	-
NH ₄ NO ₃	kg	0,16	0,07
Ca(NO ₃) ₂	kg	0,84	-
KNO ₃	kg	1,70	-
K ₂ SO ₄	kg	1,60	-
MgSO ₄	kg	0,60	-
Premiun Quelato	kg	1,04	-

3.6. Técnicas analíticas empleadas, métodos y principios de determinación.

Los métodos y principios de determinación empleados para los análisis de suelo, agua, calidad bromatológica y foliares, aparecen descritas en el *Anexo A7* y los instrumentos utilizados para el control del clima y del fertirriego, así como para las evaluaciones de calidad y postcosecha aparecen en el *Anexo A8*.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Comportamiento de las variables climáticas y de la humedad del suelo según la época de plantación estudiada.

De las variables de monitoreo evaluadas durante la investigación, se encontraron diferencias entre experimentos en cuanto al clima y a la tensión de humedad en el suelo. Por tales motivos, se analizará el comportamiento de estas variables, ya que características climáticas diferentes, de un año a otro, dentro de una misma época de plantación, pueden traer como consecuencia una respuesta desigual a las relaciones N:K estudiadas.

En este sentido, hay que tener en cuenta que el desarrollo vegetativo y reproductivo de un cultivo es el resultado de la interacción de múltiples factores, entre ellos los de manejo agronómico (fertirriego, densidad de plantación, sanidad vegetal) y los de clima, cuya acción simultánea puede favorecer o limitar la producción del cultivo y la calidad de los frutos (Moreno, 2007).

Al comparar las variables climáticas, en los diferentes experimentos efectuados (*Tabla 9*) se encontró que en el ensayo 1, correspondiente a la época primavera-verano, se presentaron de manera general temperaturas significativamente inferiores al resto de los experimentos, mientras que la radiación solar en el exterior y en el interior de la instalación fue menor en el experimento 1 con relación al 2. En cambio, en la época de invierno las variables climáticas fueron estadísticamente similares en todos los años de estudio.

Este comportamiento diferenciado en la época primavera-verano pudo incidir en que los valores de tensión de humedad del suelo (*Tabla 10*) fueran también diferentes, tanto en el promedio de todas las lecturas, como en la tensión de humedad obtenida antes de efectuar el fertirriego, con

valores significativamente superiores en el experimento 2 y en el de validación. Al parecer un aumento de la temperatura en estos experimentos incrementó los procesos de evapotranspiración en el interior de la instalación, lo que pudo traer como consecuencia una disminución de la humedad disponible en el suelo.

Tabla 9. Comparación de las variables climáticas en los diferentes experimentos efectuados en las dos épocas de estudio.

Época/ Experimentos		Temperatura (°C)						Humedad relativa (%)		Radiación solar (J/m ² /s)	
		Máxima		Mínima		Media					
		I	E	I	E	I	E	I	E	I	E
EPV	1	34,13 b	32,23 b	21,75	21,00	27,94 b	26,61 b	72,41	67,12	119,68 b	143,25 b
	2	36,13 a	34,56 a	23,26	22,61	29,41 a	28,31 a	72,06	65,73	131,76 a	157,22 a
	Validación	35,63 a	34,17 a	22,14	21,07	28,88 ab	27,62 ab	70,59	64,79	-	-
	Esx	0,551	0,619	0,881	0,909	0,694	0,749	1,482	0,958	4,033	2,642
	P ¹	0,0150	0,0991	0,0359	0,0068	0,0072	0,0338	0,8958	0,5114	0,0331	0,0226
EI	1	33,77	32,08	20,63	19,78	27,21	25,93	67,15	59,79	75,26	117,04
	2	33,52	32,61	20,61	19,94	27,06	26,28	66,05	58,61	76,67	119,09
	Validación	33,27	32,09	20,74	19,94	27,01	26,01	64,50	58,01	-	-
	Esx	0,988	0,880	0,9946	0,977	0,978	0,914	0,552	1,121	4,147	3,186
	P ¹	0.5953	0.3770	0.9326	0.6072	0.4526	0.3538	0.3615	0.5380	0.7501	0.0717

EPV: Época primavera – verano, EI: Época de invierno, I: Interna y E: Externa.

¹ P≥0,05: No existieron diferencias significativas entre experimentos. P≤0,05: Existieron diferencias significativas entre los experimentos efectuados.

Tabla 10. Valores promedios de tensión de humedad en el cultivo protegido del tomate en los diferentes experimentos efectuados para cada época de plantación.

Experimentos	Época primavera – verano		Época de invierno	
	Tensión de humedad promedio (kPa)	Tensión de humedad antes del fertirriego (kPa)	Tensión de humedad promedio (kPa)	Tensión de humedad antes del fertirriego (kPa)
1	11,32 b	17,13 b	11,24	17,30
2	12,70 a	19,05 a	11,05	17,32
Validación	12,62 a	18,95 a	11,31	17,64
Esx	0,698	0,892	0,503	0,495
P ¹	0,0011	0,0125	0,8977	0,3736

¹ P≥0,05: No existieron diferencias significativas entre experimentos. P≤0,05: Existieron diferencias significativas entre los experimentos efectuados.

En condiciones de fuerte demanda evapotranspirativa, las altas tasas de transpiración por área foliar pueden reducir la eficiencia del proceso fotosintético, lo cual va en detrimento de la

producción de asimilados que siguen el camino de la biosíntesis de las sustancias orgánicas necesarias para el crecimiento, influyendo de manera negativa en el balance que se establece entre la formación de estructuras celulares y la pérdida de CO₂. Todo ello trae como consecuencias reducción en el crecimiento, afectaciones en el proceso de fructificación y disminución de la producción (Luo *et al.*, 2006; Dogliotti, 2007; Azcón y Talón, 2008).

Por otra parte, la acumulación de sales en la superficie del suelo, proceso que se ve favorecido por las altas temperaturas, según Luiz (1999), puede constituir otro de los efectos desfavorables del incremento de la evapotranspiración. En este sentido, González–Murillo *et al.* (2006) plantean que es común encontrarse cambios temporales de conductividad eléctrica en el suelo, en momentos puntuales donde la demanda hídrica del cultivo y del ambiente se incrementan.

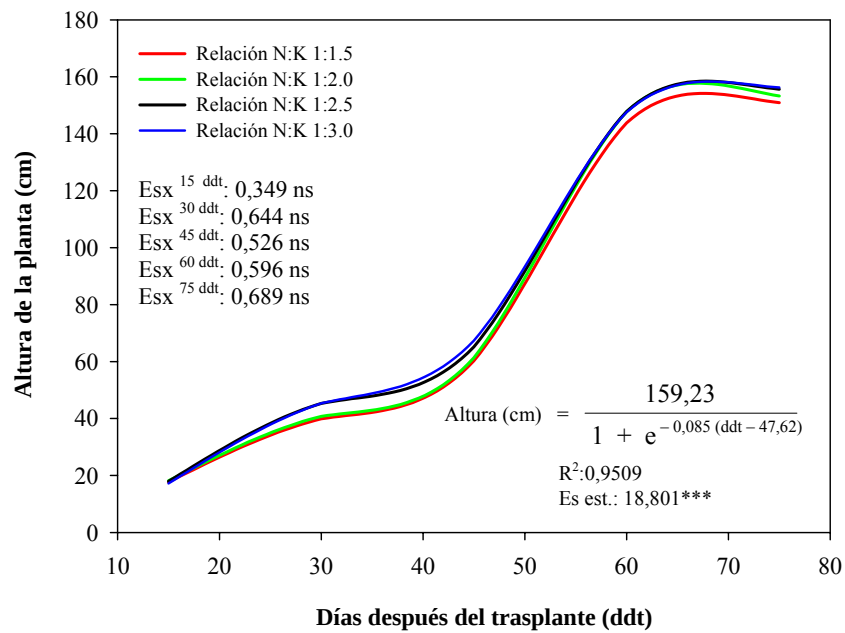
4.2. La relación N:K en el crecimiento de las plantas de tomate.

4.2.1. Comportamiento de la altura de la planta en el cultivo protegido del tomate.

La altura de la planta no reflejó significación estadística ante la diferenciación de las relaciones N:K en la solución nutritiva en ninguno de los momentos de evaluación y épocas de estudio (*Figura 3*), sobre todo a partir de los 45 ddt donde se podría esperar alguna respuesta, pues los tratamientos comenzaron a aplicarse con el inicio de la fase III del ciclo del cultivo, aproximadamente a los 40 ddt.

Este comportamiento pudo estar condicionado a que las plantas recibieron igual dosis de N, lo que provocó que los valores fueran estadísticamente similares en todos los tratamientos, teniendo en cuenta la incidencia directa que tiene el N en el desarrollo vegetativo del tomate (Araujo *et al.*, 2007; Elia *et al.*, 2007).

Época primavera - verano



Época de invierno

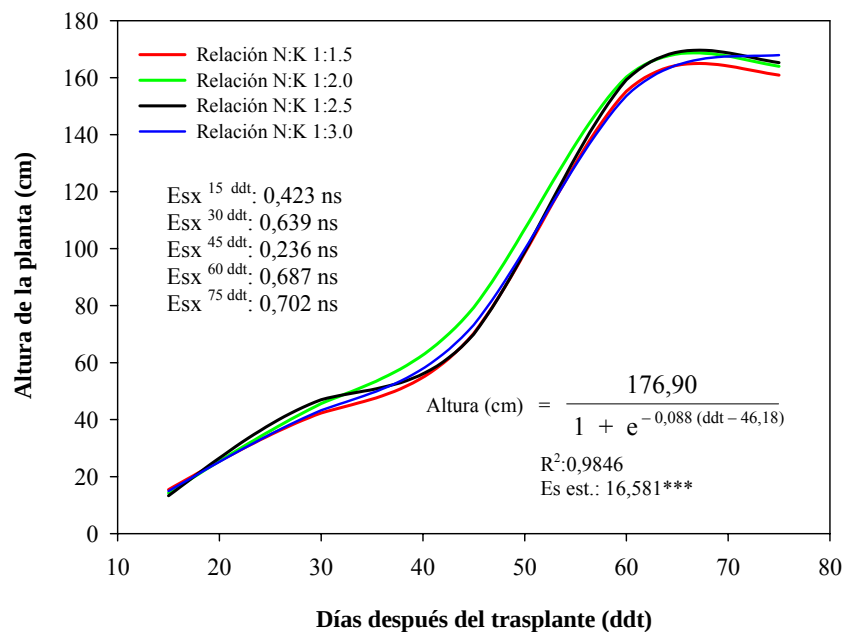


Figura 3. Efecto de la relación N:K en la altura de la planta en diferentes momentos del ciclo de crecimiento y desarrollo del tomate, híbrido HA 301. Ecuaciones de tendencia y coeficientes de determinación que caracterizan la evolución de la altura en el tiempo (promedio de cuatro tratamientos).

Se señala además, en estudios realizados en el cultivo protegido del tomate, en condiciones de suelo y clima similares a los de la presente investigación que la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica (Alfonso *et al.*, 2006), esquemas de fertirriego (Hernández *et al.*, 2005), fuentes de fertilizantes (Hernández *et al.*, 2008) y estimuladores del crecimiento y de la nutrición (Cawich, 2008) no provocaron un efecto diferenciado en la altura de la planta. Estos autores plantean que esta variable está determinada por las características del material vegetal, en el caso del híbrido HA 3019 la altura está limitada por su hábito de crecimiento, de tipo determinado.

Según el modelo logístico ajustado, la altura de la planta muestra un patrón de crecimiento sigmoideal, con coeficientes R^2 altos y significativos. La mayor tasa de crecimiento se produce durante la fase III del ciclo del cultivo, a los 47,62 ddt para la época primavera-verano y a los 46,18 ddt en la época de invierno. En cambio, la máxima magnitud estimada de la biomasa (α) se obtiene durante la fase IV y la altura tiende a estabilizarse a partir del inicio de la cosecha.

Los valores de α en la época primavera-verano (159,23 cm) fueron inferiores en un 9,98 % a los estimados en la época de invierno (176,90 cm), debido posiblemente a las condiciones de clima que caracterizaron a esta época, determinada fundamentalmente por el incremento de la temperatura, pues la radiación solar en el interior de la instalación fue más favorable para el desarrollo del cultivo en la época primavera-verano.

Los resultados obtenidos coinciden con Torres (1987) quien plantea que la disminución del crecimiento en el cultivo del tomate en condiciones de verano pudiera deberse al hecho de que, a pesar de presentarse una mayor iluminación en esta época, favorable para la actividad fotosintética, las altas temperaturas pueden provocar altos ritmos de respiración lo cual conduce a una reducción del crecimiento de la planta.

4.2.2. Acumulación de biomasa en plantas de tomate.

La acumulación de biomasa por órganos y total (*Figura 4*) en plantas de tomate sigue, al igual que la altura un patrón de crecimiento sigmoideal con valores de R^2 altos y significativos. La masa seca aumenta con la edad del cultivo, independientemente de la época y los tratamientos estudiados y la mayor acumulación (α) se cuantificó en el período de plena producción. En esta etapa los frutos realizaron la mayor contribución a la masa seca total (42,44–45,08 %), resultados que coinciden con Andriolo y Falcao (2003) en el cultivo protegido del tomate.

La máxima tasa de crecimiento para el tallo, las hojas, los frutos y la biomasa total se produce entre los 42,94–45,54, 51,10–56,01, 53,15–55,33, 50,67–53,18 ddt respectivamente, momentos que coinciden con la fase III del ciclo del cultivo, mientras que en las raíces, la mayor tasa de crecimiento correspondió a la fase II (31,34–32,32 ddt).

En cuanto a las raíces, Luiz (1999) plantea que los asimilados disponibles para ser transportados hacia ellas son los que quedan después de estar satisfechas la respiración y el crecimiento de las partes aéreas, siendo mayor su disponibilidad en las fases iniciales del cultivo, caracterizadas por un escaso desarrollo vegetativo. Sin embargo, una vez iniciado el período generativo, el crecimiento de las raíces se reduce y puede llegar a ocurrir la muerte de parte del sistema radical.

Las máximas magnitudes estimadas para la masa seca en raíz, tallo, hojas, frutos y biomasa total en la época de invierno, fueron superiores a las cuantificadas en la época primavera–verano en un 22,37, 7,86, 45,12, 19,59 y 27,03 % respectivamente. Temperaturas más favorables para el desarrollo del cultivo, pudieron estimular el crecimiento de la planta, la distribución de los asimilados para sustentar el crecimiento de los sumideros y la eficiencia de la fotosíntesis.

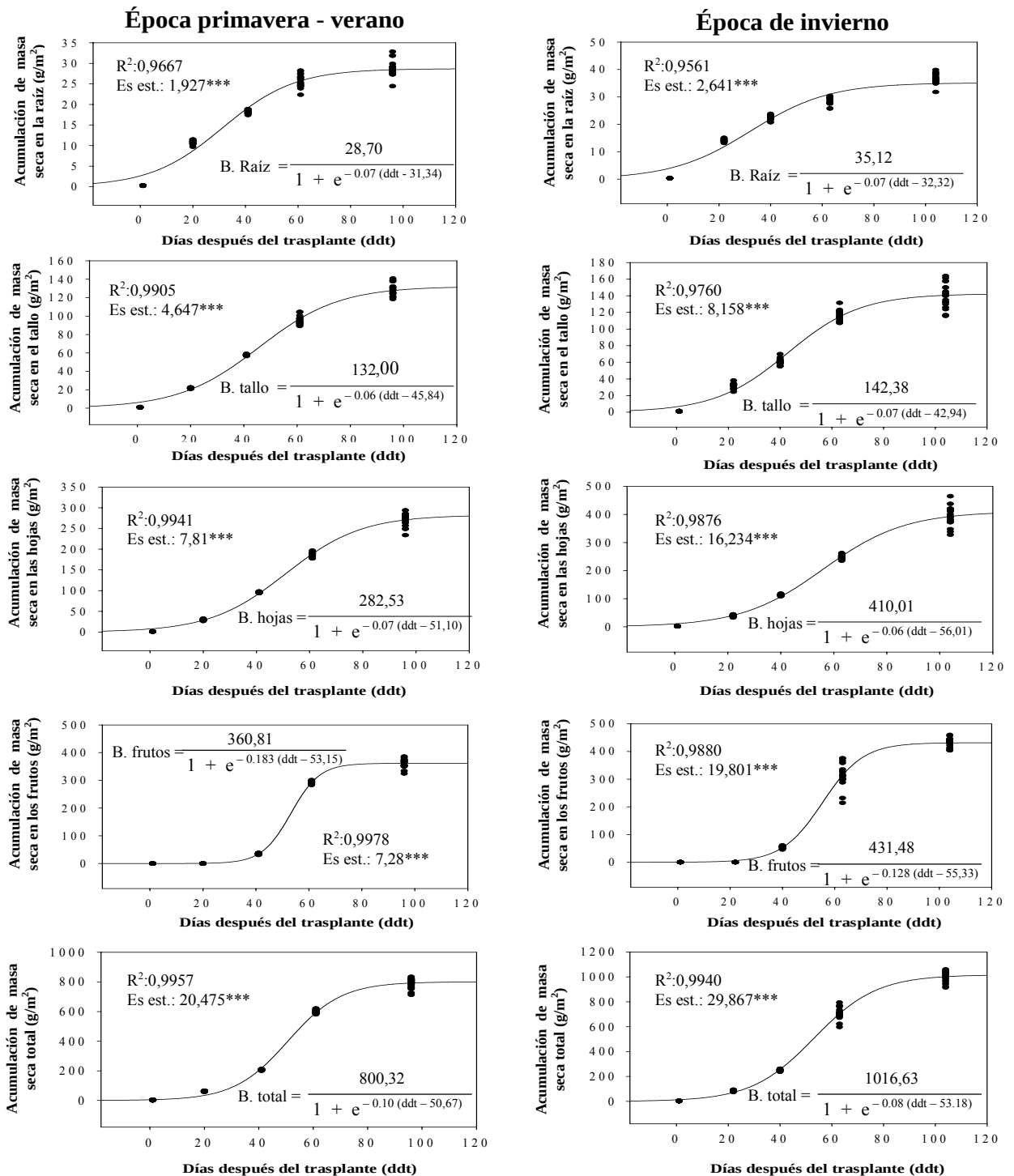


Figura 4. Ecuaciones de tendencia y coeficientes de determinación que caracterizan la evolución de la acumulación de masa seca por órganos y total durante el ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

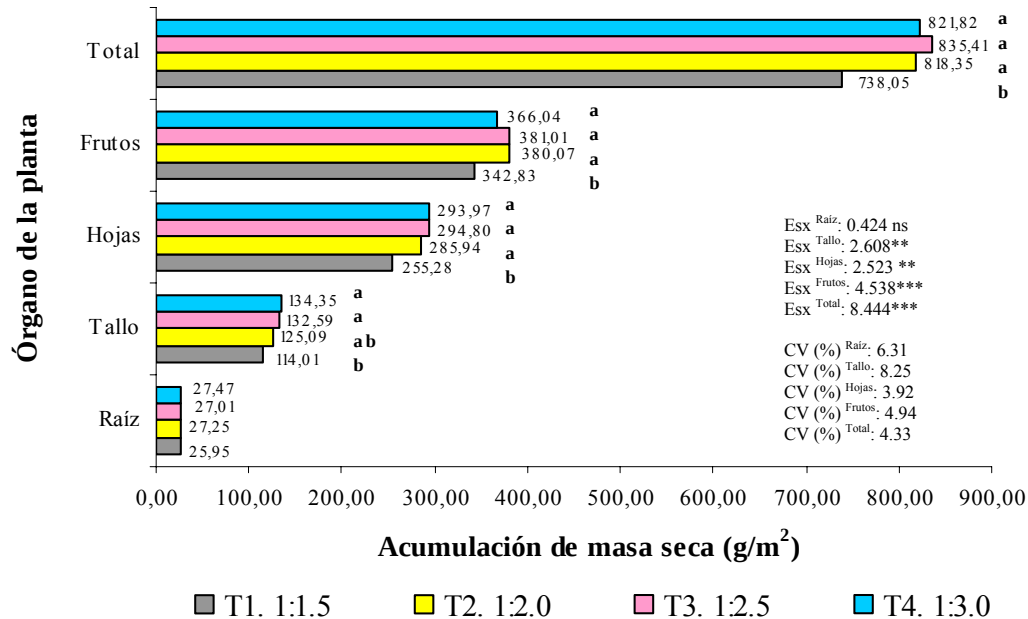
El efecto de las relaciones N:K en la producción de biomasa, por órganos y total en el cultivo protegido del tomate durante la época primavera-verano, se manifestó sólo al final de la fase IV (*Figura 5*), con diferencias significativas en tallo, hojas, frutos y total, en el experimento 1, y en hojas, frutos y total, en el experimento 2. La menor producción de biomasa por órganos y total, en ambos ensayos, correspondió a la relación N:K 1:1.5, mientras que el resto de los tratamientos mostraron los mayores valores, con un comportamiento similar entre ellos.

Estos resultados sugieren, desde el punto de vista del crecimiento, que es posible en la época primavera-verano disminuir la concentración de K^+ en la solución nutritiva y utilizar una relación N:K diferente a la variante de producción propuesta.

En la época de invierno (*Figura 6*) se observó, para las hojas y el tallo, una tendencia similar a la encontrada en la época de primavera-verano con una menor producción de biomasa en la relación N:K 1:1.5 y valores superiores en el resto de los tratamientos. Sin embargo, la relación 1:2.5, testigo de producción, permitió obtener valores de masa seca en frutos y total superiores al resto de las soluciones nutritivas, aspecto positivo si se tiene en cuenta que el rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha. La biomasa en frutos y la masa seca total disminuyeron con la relación N:K 1:3.0.

Lo anterior pone de manifiesto la importancia de utilizar una adecuada relación N:K en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate que estimule, en dependencia de la época de plantación, la producción de biomasa como indicador del crecimiento vegetal. Sobre este aspecto Steineck (1974) establece que la acumulación de materia seca vegetal depende del suministro balanceado de N y de K, pues la incidencia del N cuando las dosis de K no son limitantes, se

Experimento 1



Experimento 2

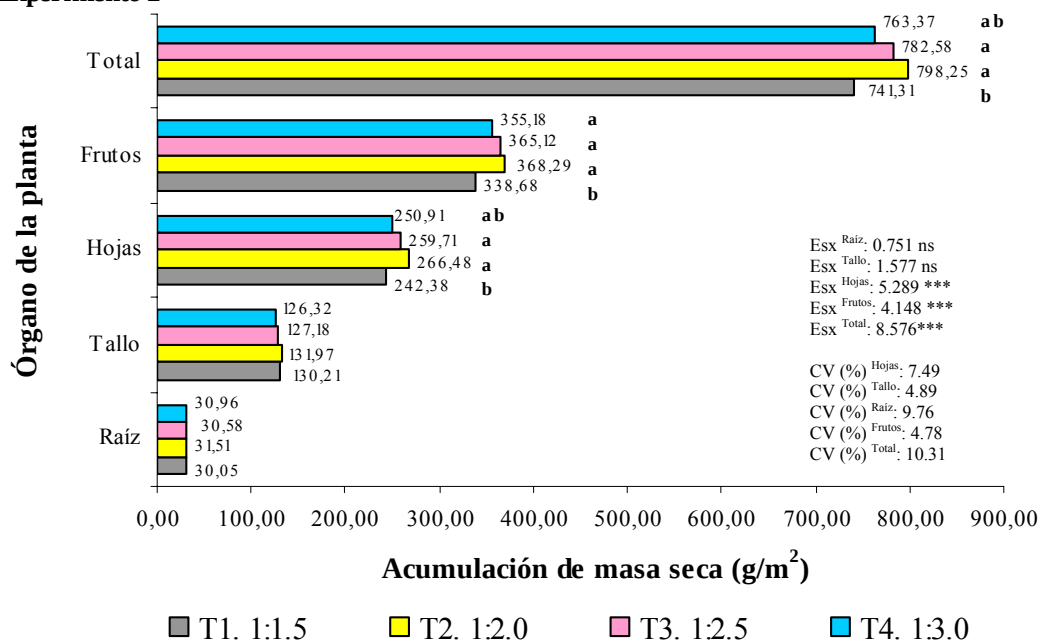
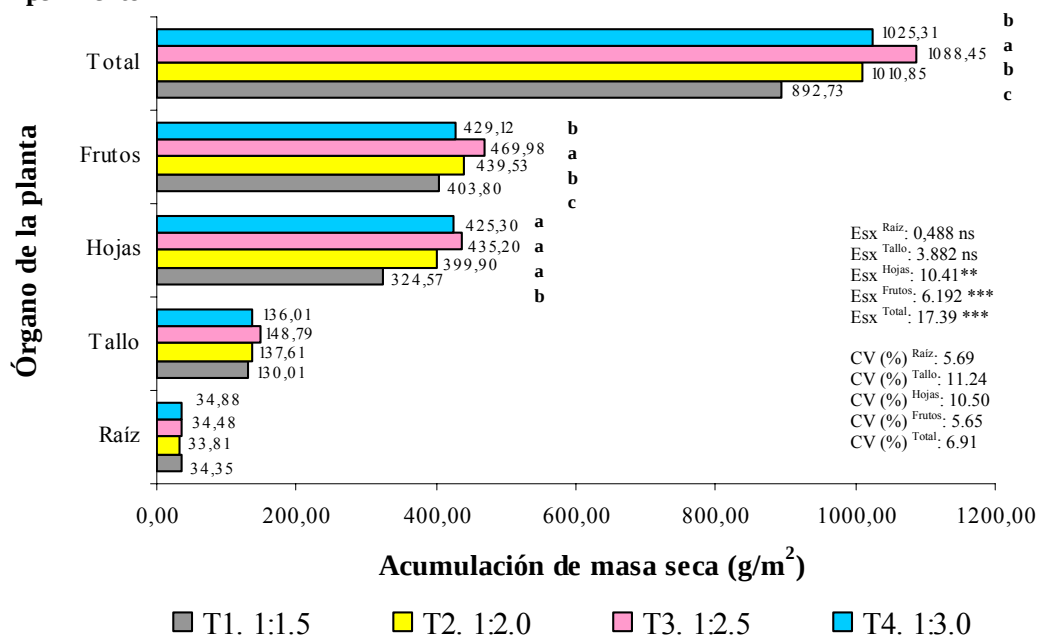


Figura 5. Efecto de la relación N:K en la producción de masa seca, por órganos y total, al final del período de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para la época primavera-verano.

Experimento 1



Experimento 2

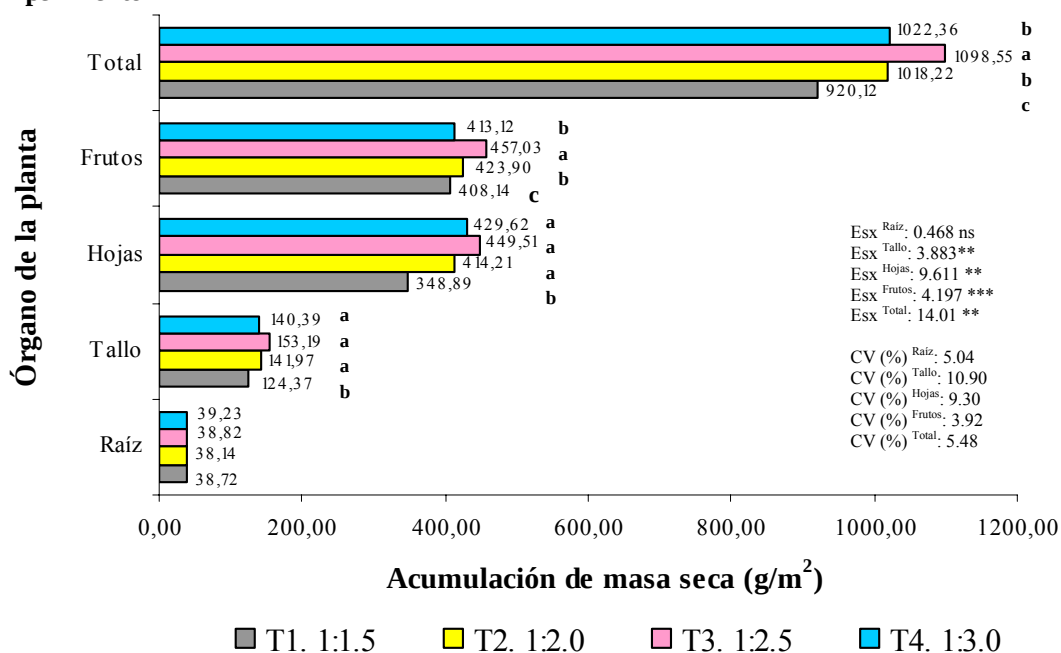


Figura 6. Efecto de la relación N:K en la producción de masa seca, por órganos y total, al final del período de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para la época de invierno.

cuantifica en un aumento del desarrollo foliar, pero cuando las dosis de K son más bajas que las del N se reduce el crecimiento de todos los órganos de la planta.

De igual forma, Blanco y Folegatti (2008) plantean que el K actúa como regulador del crecimiento, inhibiendo el desarrollo vegetativo excesivo cuando la disponibilidad de N es alta. Encontraron además que la producción de biomasa en plantas de tomate se reduce con la relación N:K más alta, debido posiblemente a un efecto tóxico del incremento de la fertilización, comportamiento similar al encontrado para la biomasa en frutos y total en la época de invierno.

Por otra parte, Guardiola y García (1990) señalan que la capacidad de la planta para acumular biomasa en sus órganos, depende de la concentración de K en la solución nutriente, pues si bien, el K no entra en la composición de elementos estructurales, si juega un papel importante en el transporte de azúcares. Neudes *et al.* (2003) comprobaron que el flujo de carbohidratos en el floema es más intenso en las plantas que recibieron una adecuada fertilización con K, mientras que Morales *et al.* (2007) calcularon que la eficiencia en la absorción de K y la habilidad de la planta para concentrar este elemento en la corriente xilemática tienen una relación positiva con el crecimiento aéreo.

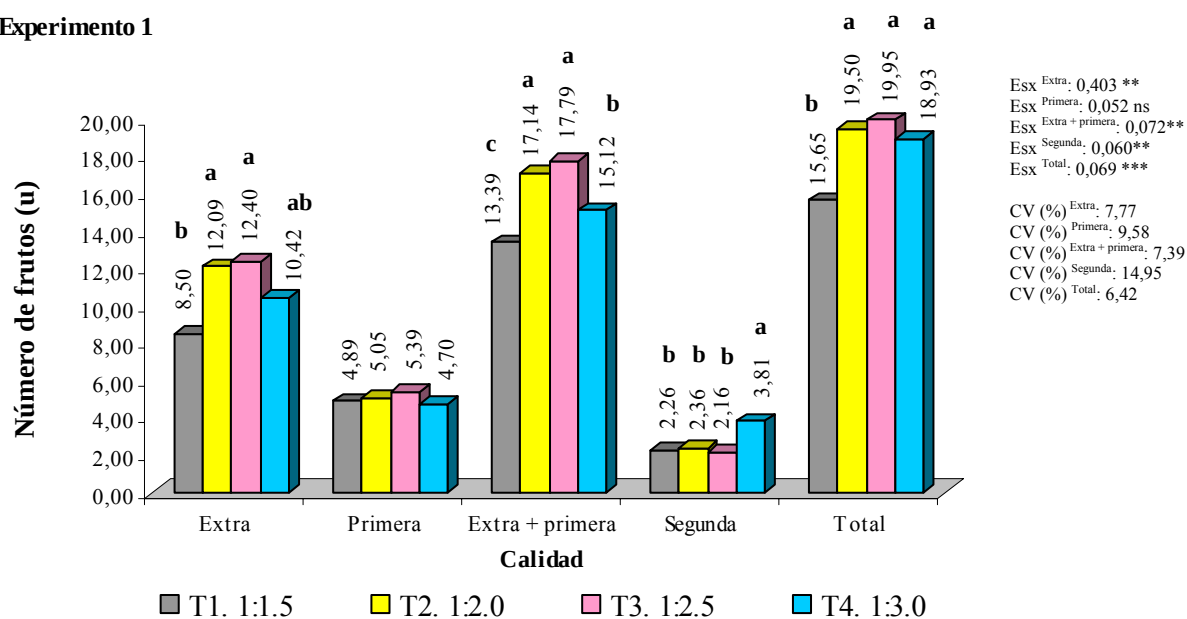
4.3. La relación N:K en el rendimiento, la calidad y la postcosecha de los frutos en el cultivo protegido del tomate.

4.3.1. Etapa experimental.

4.3.1.1. Componentes del rendimiento y rendimiento.

En la *Figura 7* se refleja el efecto de las relaciones N:K estudiadas, en el número de frutos por planta para la época primavera-verano. Las clasificaciones extra y extra + primera presentaron

Experimento 1



Experimento 2

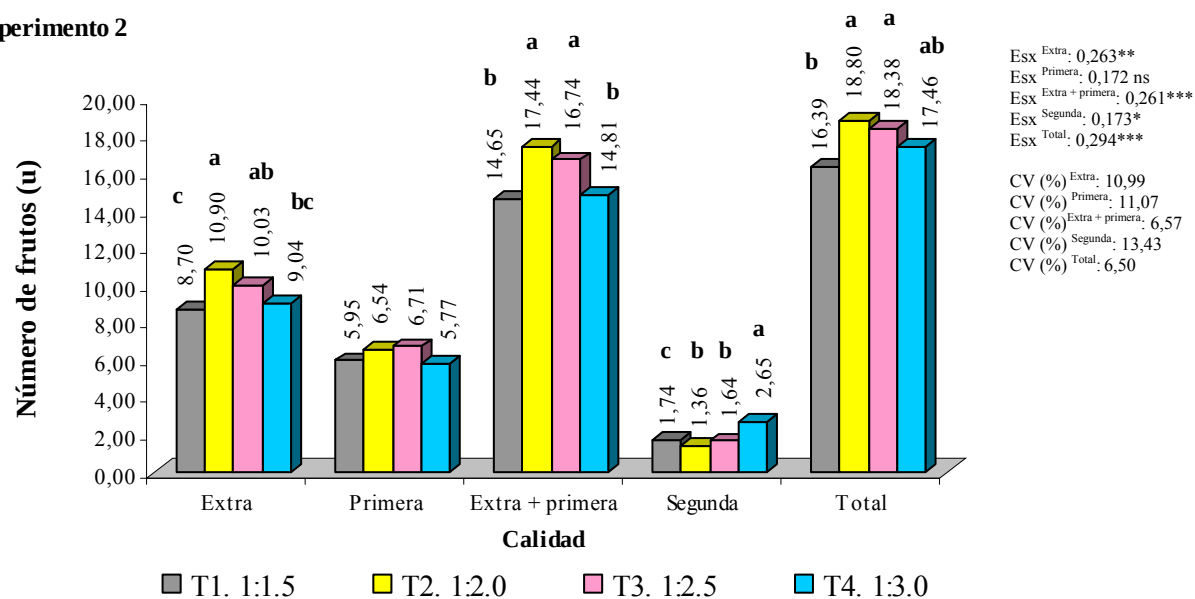


Figura 7. Número de frutos promedio por planta en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para cada relación N:K estudiada durante la época de primavera-verano.

los mayores valores en las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5, sin que existieran diferencias entre ellas. Se observó además, una tendencia a disminuir el número de frutos en estas calidades en la relación N:K 1:3.0, variante a la que le correspondió un mayor número de frutos de segunda, significativamente diferente al resto de los tratamientos. El número de frutos totales por planta, para ambos años de estudio, fue superior en las relaciones N:K 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0, donde se incluye la variante de producción.

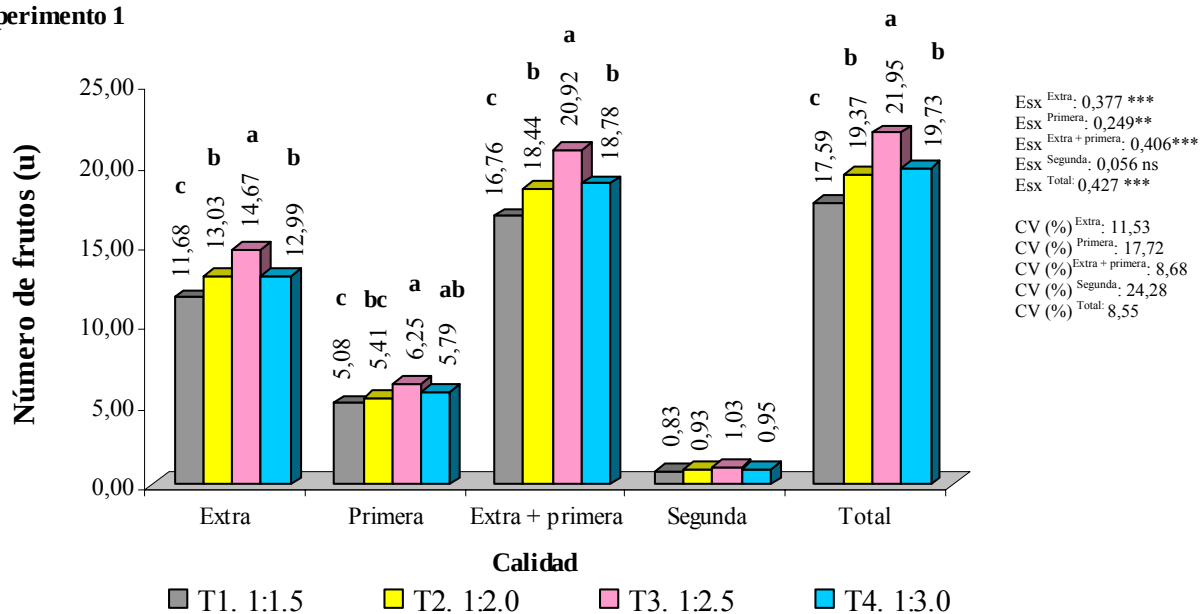
Por tales motivos, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, fundamentalmente para el número de frutos extra + primera, se puede plantear que en la época primavera-verano es posible variar la relación N:K recomendada en el instructivo técnico vigente, pues la relación 1:2.0 mostró un comportamiento similar al testigo de producción (relación 1:2.5).

Al analizar la época de invierno (*Figura 8*) se observó que el mayor número de frutos de calidad extra, primera, extra + primera y total se cuantificó en la relación N:K 1:2.5 (testigo de producción) y al igual que para la época primavera-verano, estos componentes del rendimiento disminuyeron con la relación N:K 1:3.0, variante donde existe el riesgo de incrementarse el número de frutos de segunda, caracterizados por un menor tamaño y valor comercial.

Estos resultados demuestran la importancia de mantener una adecuada relación entre el N y el K, que permita obtener, en dependencia de la época de plantación, frutos superiores en cuanto a tamaño y con una presencia mínima de defectos, que satisfagan algunos estándares de calidad que exigen los consumidores.

En la *Figura 9* aparece el efecto de las relaciones N:K en la masa promedio del fruto para la época primavera-verano. Los menores valores, en los dos experimentos, correspondieron a la

Experimento 1



Experimento 2

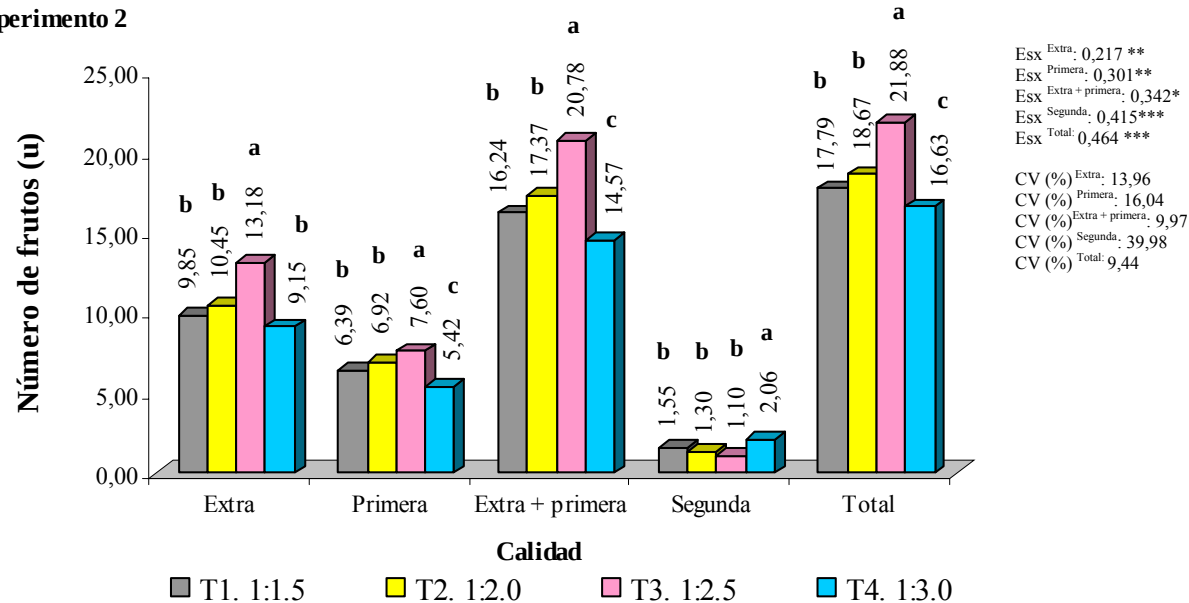


Figura 8. Número de frutos promedio por planta en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para cada relación N:K estudiada durante la época de invierno.

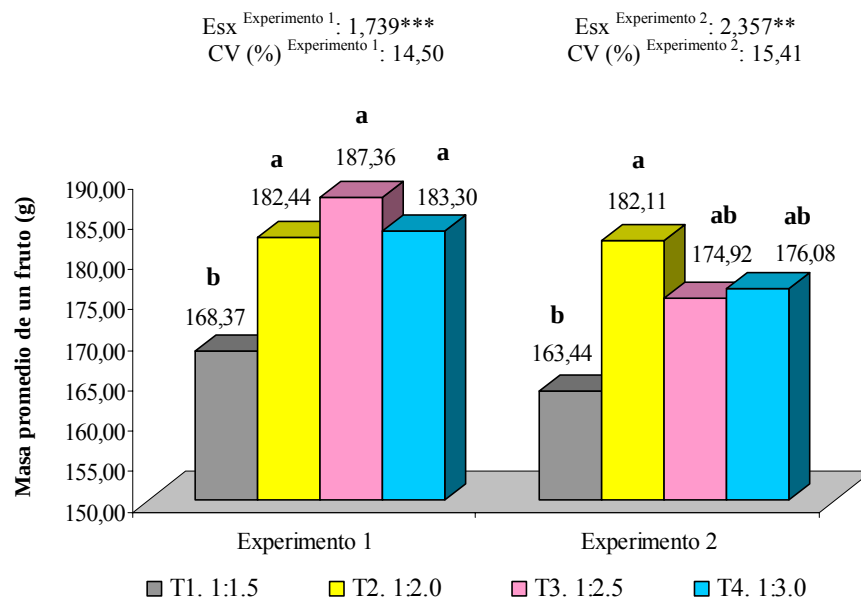


Figura 9. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en la masa promedio de un fruto de tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de cultivo protegido durante la época primavera-verano.

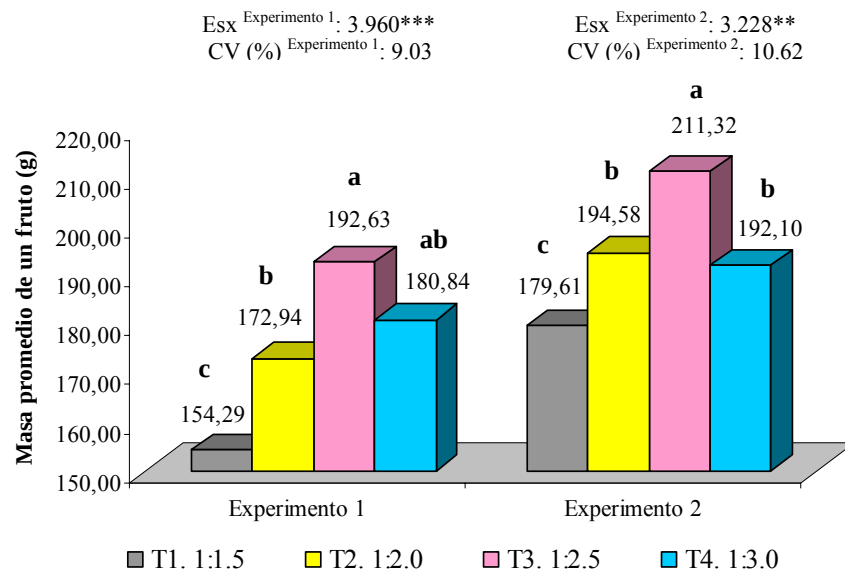


Figura 10. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en la masa promedio de un fruto de tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de cultivo protegido durante la época de invierno.

relación N:K 1:1.5, con un comportamiento estadísticamente similar entre las relaciones 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0. En la época de invierno (*Figura 10*) se observa que la masa del fruto, aumenta significativamente con el incremento de la concentración de K^+ en la solución nutritiva hasta la relación N:K 1:2.5, por lo que en la variante de producción es donde se alcanzan valores superiores. Posteriormente la masa del fruto disminuyó con la relación N:K 1:3.0.

El diámetro ecuatorial y polar, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, en los experimentos efectuados en las dos épocas de estudio (*Anexo A9*).

Se observó, para ambas épocas de estudio, que la mayoría de los componentes del rendimiento evaluados muestran una tendencia a disminuir con una relación N:K de 1:3.0. Resultados similares obtuvieron, en el cultivo protegido del tomate, Armenta *et al.* (2001) y Cedeño *et al.* (2002), quienes concluyeron, que un exceso de K podría convertirse en un factor limitante para el llenado de los frutos y ser totalmente contraproducente para promover frutos de mayor tamaño y calidad exportable, particularmente en los períodos de plena producción.

La tendencia que muestran los componentes del rendimiento a disminuir con una relación N:K superior a 1:2.5, pudo deberse a un aumento de la CE en la solución del suelo. La relación N:K de 1:3.0 presentó, en las etapas III y IV, los mayores valores de CE; entre 3,03–3,15 mS/cm para la época primavera–verano y entre 3,25–3,54 mS/cm en la época de invierno.

Este incremento de la CE en la solución del suelo estuvo determinado no sólo por el aumento de la concentración de K^+ a expensas del N, sino también por el incremento del Ca^{++} y del Mg^{++} en la solución nutriente con el objetivo de mantener la relación $K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$ en los niveles establecidos.

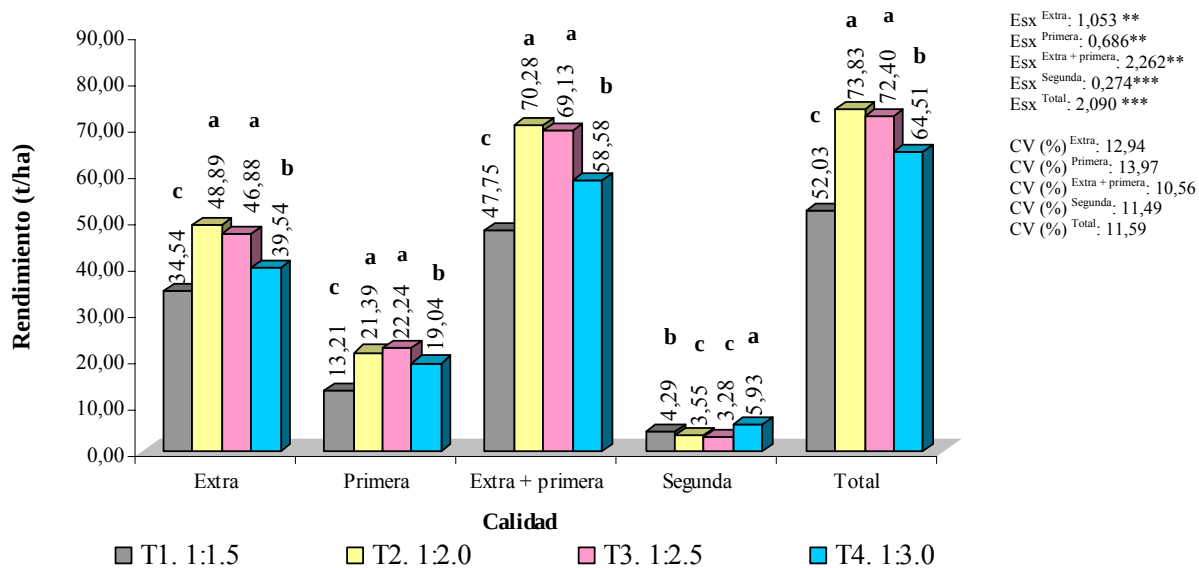
En este sentido, Chinnusamy *et al.* (2005) y Estañ *et al.* (2005) plantean que, independientemente de que existen cultivares que toleran una alta CE, el tomate requiere por lo general conductividades eléctricas en la solución del suelo entre 2,50–3,00 mS/cm. Valores superiores provocan efectos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos negativos, una disminución de la fotosíntesis y afectaciones en el proceso de floración; el número y peso de los frutos también se afectan, de manera que el rendimiento comercial disminuye.

El principal efecto de la CE se relaciona con el factor osmótico y una mayor dificultad de la planta para absorber agua, con un gasto de energía que puede ser en detrimento de la energía metabólica y de los compuestos orgánicos que se destinan a los diferentes órganos de la planta en crecimiento (Hu y Schimdhalt, 2005; Munns, 2005; Goycovic y Saavedra, 2007).

En la *Figura 11* se presenta el rendimiento por calidades de producción y total en los experimentos de la época primavera-verano. En el primer año de estudio, se obtuvo que las calidades extra, primera y extra + primera y el rendimiento total, mostraron los mayores valores en los tratamientos con relaciones N:K de 1:2.0 y 1:2.5; en ellos se obtuvo además un menor rendimiento de segunda. Similar a lo encontrado para los componentes del rendimiento, la relación N:K 1:3.0 provocó una disminución significativa de la producción.

En cambio, en el segundo año de estudio, se obtuvieron rendimientos de calidad extra, extra + primera y total superiores sólo en la relación N:K 1:2.0, mientras que la depresión de la producción comenzó a manifestarse en las plantas que recibieron la relación N:K 1:2.5 o variante de producción. En este experimento la relación N:K 1:2.0 incrementó el rendimiento extra + primera y total en un 19,50 y 18,47 % respectivamente con relación al tratamiento testigo.

Experimento 1



Experimento 2

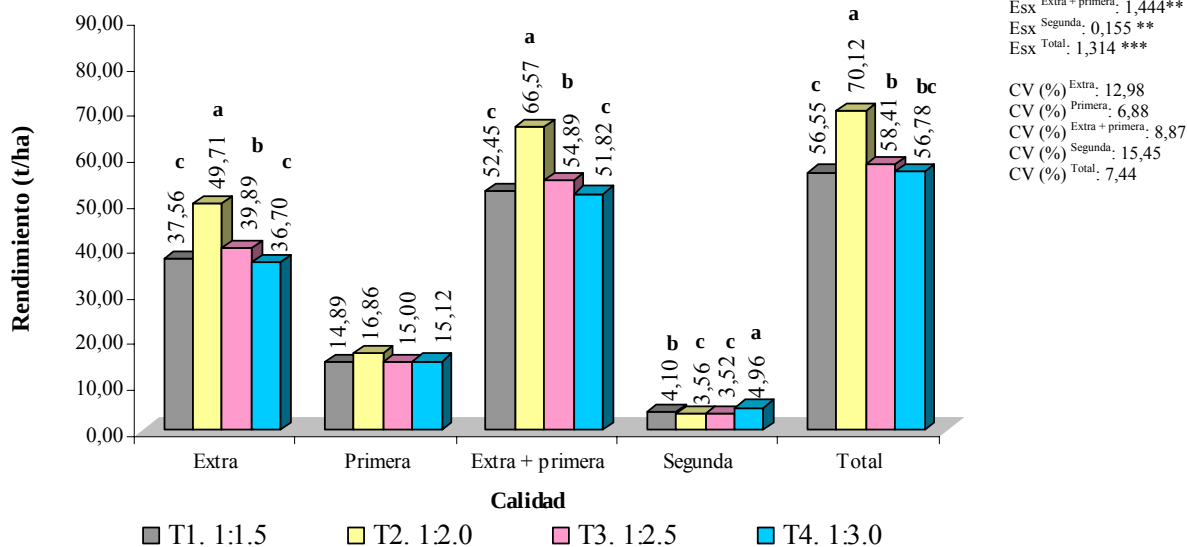


Figura 11. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el rendimiento por calidades y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, durante la época de primavera-verano.

Este comportamiento diferenciado entre experimentos para una misma época de estudio pudo deberse a las diferencias encontradas en los valores promedios de temperatura ambiental y de tensión de humedad del suelo que caracterizaron cada ensayo efectuado. Al parecer un aumento de la temperatura en el segundo año de estudio, combinado con un incremento de la tensión de humedad del suelo, pudo intensificar el efecto negativo de una mayor concentración de nutrientes en la solución nutritiva.

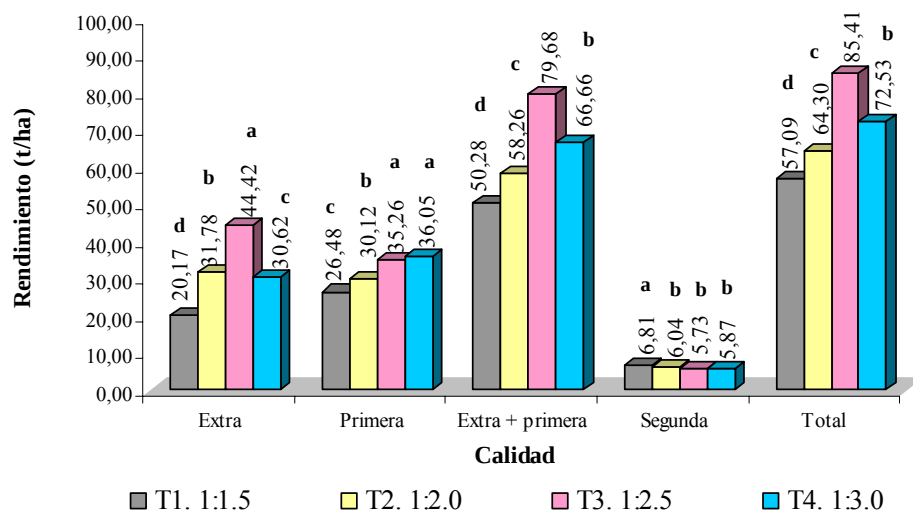
Los tratamientos de mejor comportamiento en los experimentos 1 (1:2.0 y 1:2.5) y 2 (1:2.0) permitieron obtener rendimientos comerciales (extra + primera) y totales entre 67,57–70,28 t/ha y 70,12–73,83 t/ha respectivamente, aceptables para la época de estudio.

En la época de invierno (*Figura 12*) se lograron los mayores rendimientos de calidad extra, extra + primera y total con la variante de producción, la relación N:K 1:2.5. Esta relación permitió obtener, respectivamente en la época de invierno, rendimientos comerciales (extra + primera) y totales entre 75,40–79,68 t/ha y 81,69 y 85,41 t/ha, característicos del híbrido utilizado y superiores a la relación N:K 1:2.0 entre 6,86–32,83 % y 8,77–36,76 %.

En cuanto a la calidad primera se observaron diferencias sólo en el experimento 1, y el mejor comportamiento correspondió a las relaciones 1:2.5 y 1:3.0, mientras que la producción de segunda fue siempre estadísticamente superior en T1 (N:K 1:1.5).

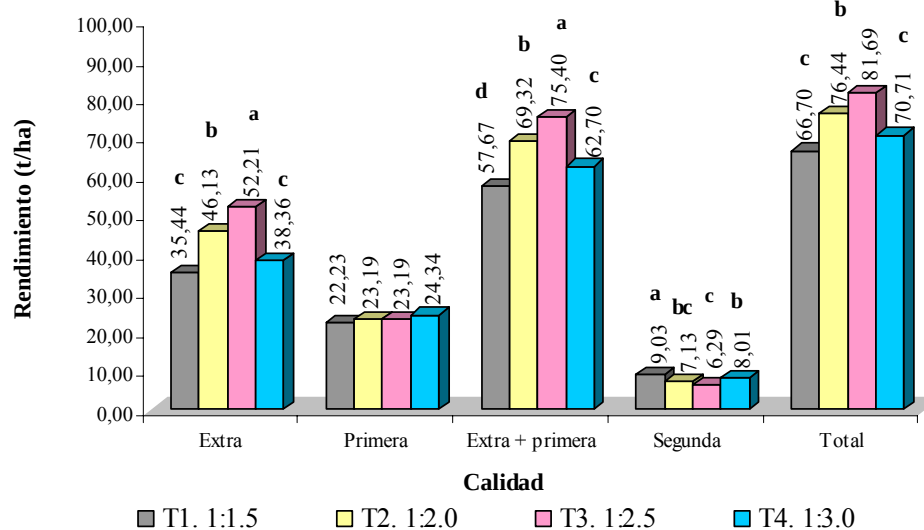
El análisis de la estructura del rendimiento (*Figura 13*) permite confirmar los resultados presentados. En la época primavera-verano la mejor estructura se obtuvo en los tratamientos con las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5, teniendo en cuenta que en estas variantes se obtuvieron los mayores porcentajes en la calidad extra + primera (95,07 y 94,80 %) e inferiores en la de

Experimento 1



Esx Extra: 1,201***
 Esx Primera: 0,901**
 Esx Extra + primera: 1,176***
 Esx Segunda: 0,023*
 Esx Total: 1,136***
 CV (%) Extra: 14,43
 CV (%) Primera: 10,45
 CV (%) Extra + primera: 8,87
 CV (%) Segunda: 13,70
 CV (%) Total: 7,88

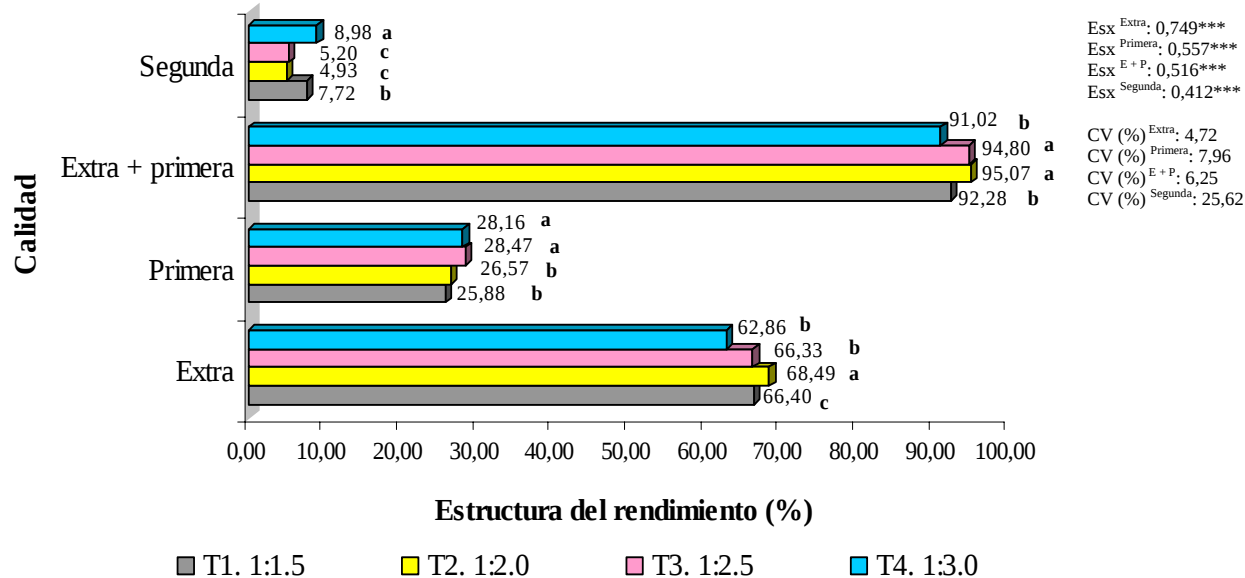
Experimento 2



Esx Extra: 1,726***
 Esx Primera: 0,334 ns
 Esx Extra + primera: 1,780**
 Esx Segunda: 0,280**
 Esx Total: 1,495***
 CV (%) Extra: 14,85
 CV (%) Primera: 9,75
 CV (%) Extra + primera: 10,76
 CV (%) Segunda: 14,78
 CV (%) Total: 7,87

Figura 12. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el rendimiento por calidades y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, durante la época de invierno.

Época primavera - verano



Época de invierno

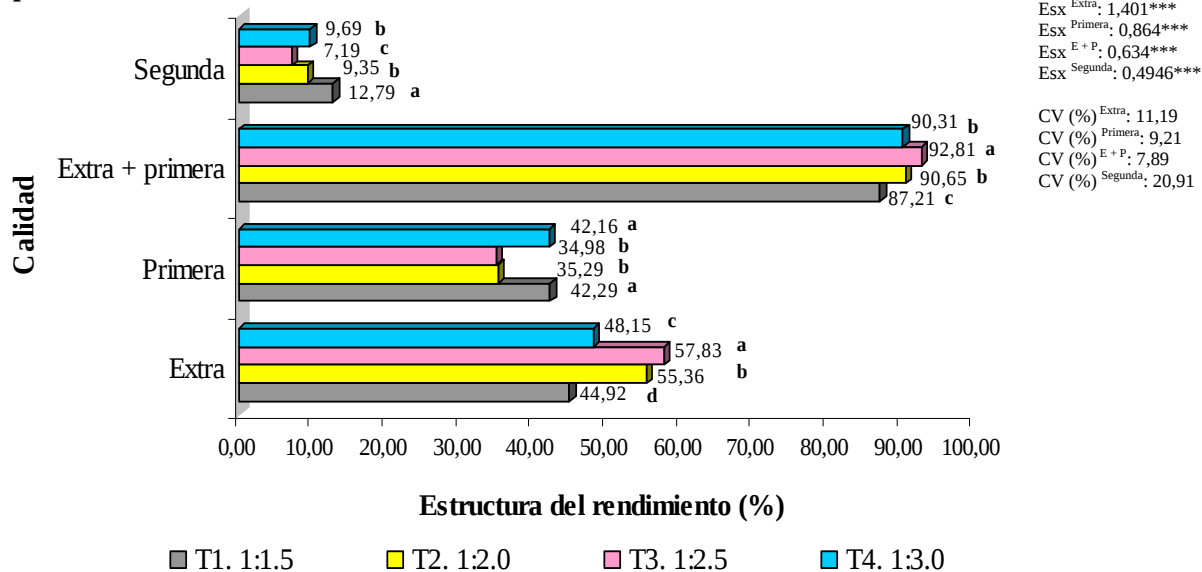


Figura 13. Comportamiento de la estructura del rendimiento por calidades ante la aplicación de diferentes relaciones N:K en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para las dos época de estudio.

segunda (4,93 y 5,20 %), aunque la relación N:K 1:2.0 mostró valores significativamente superiores en la categoría extra con relación al testigo de producción, lo que podría elevar el beneficio económico de la fertilización.

Estos resultados indican que la relación N:K de 1:2.0 es suficiente para garantizar una adecuada formación del rendimiento y contrarrestar las pérdidas de energía que supone el incremento de la respiración y la transpiración de las plantas a temperaturas elevadas. Por lo que es posible en esta época variar la relación N:K recomendada en el Instructivo Técnico vigente.

En cambio, en la época de invierno, la relación N:K 1:2.5 o testigo de producción presentó la mejor estructura del rendimiento, con porcentajes significativamente superiores al resto de los tratamientos en la calidad extra + primera (92,81 %) y rendimientos de segunda inferiores (7,19 %). Por tales motivos, en época de clima más favorable, como en invierno, la concentración de K^+ en la solución nutriente debe ser superior a la utilizada en primavera-verano, debido posiblemente a un mayor rendimiento y acumulación de biomasa en los órganos de la planta. Una relación N:K por encima de la variante de producción trae consigo la depresión de los rendimientos.

Lo anterior no se encuentra en correspondencia con el concepto generalizado que existe entre los productores de que siempre un aumento de la relación N:K trae efectos positivos en el rendimiento del tomate, sobre todo en condiciones de clima desfavorables para el cultivo. El presente estudio demuestra que esto es posible sólo hasta un determinado valor y que la relación N:K a utilizar dependerá, entre otros factores, de la época de plantación.

La estructura del rendimiento obtenida para ambas épocas de estudio se corresponde con las metas de rendimiento planificadas en el sistema de cultivo protegido y con las características del cultivar utilizado; el híbrido HA 3019 posee dentro de sus atributos, un porcentaje de frutos de calidad extra + primera superior al 90 % (Casanova *et al.*, 2003; Rodríguez y Gómez 2005).

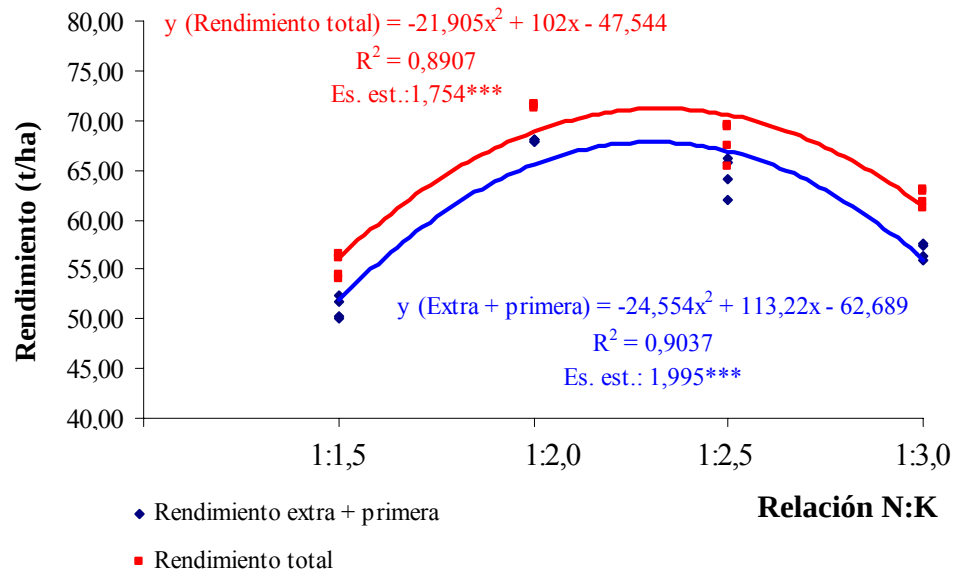
En la *Figura 14* se muestran las curvas y ecuaciones de tendencia que caracterizan la relación entre el rendimiento y los tratamientos estudiados para las dos épocas de estudio. El modelo utilizado (polinomio de segundo orden) permitió obtener valores de R^2 altos y significativos e indica que en determinada relación N:K se obtiene una depresión de los rendimientos.

El óptimo biológico en la época primavera-verano se alcanza con la relación N:K 1:2.31 (extra + primera) y 1:2.33 (total), para un rendimiento máximo total de 71,19 t/ha, mientras que en la época de invierno el óptimo biológico fue de 1:2,45 (extra + primera y total) con un rendimiento máximo total de 83,11 t/ha.

Por otra parte, es necesario señalar que se observó desde el punto de vista productivo, una respuesta significativa del cultivo a las relaciones N:K estudiadas, aún cuando en el suelo se presentaron altos contenidos de K. Al parecer, la disponibilidad de este nutriente en el suelo o su concentración en la zona radicular no fue suficiente para sustentar el rendimiento obtenido y su adición estimuló la producción del cultivo.

Con relación a este comportamiento, Alfonso (2006) determinó que la reserva nutricional de los suelos Ferralíticos Rojos satisface plenamente las demandas de P_2O_5 , K_2O y CaO en el cultivo protegido del tomate. Sin embargo, este autor plantea que a pesar de esta particularidad y de que las aplicaciones vía fertirriego en condiciones de producción superan los 800 kg/ha de K_2O , los

Época primavera - verano



Época de invierno

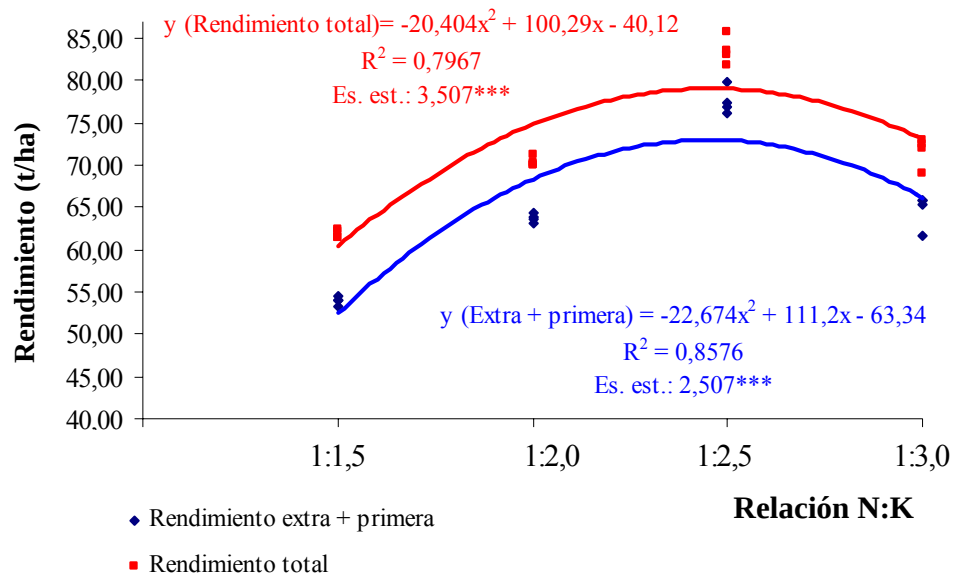


Figura 14. Relación entre los tratamientos estudiados y el rendimiento extra + primera y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019 en dos épocas de plantación.

productores encuentran contenidos bajos de K soluble al utilizar instrumentos de medición y kits para el diagnóstico nutricional “in situ”, siendo preciso aplicar fertilizantes sistemáticamente para obtener un incremento significativo en el rendimiento y la calidad de los frutos.

La respuesta del cultivo, en este tipo de suelo, a las relaciones N:K estudiadas pudo estar determinada por varios factores y particularidades que condicionan la nutrición en el sistema, entre ellos la utilización de híbridos de rápido crecimiento, con una alta producción de biomasa vegetal, absorción diaria de nutrientes y elevados rendimientos y el desarrollo de un sistema radical superficial, limitado en un bulbo húmedo, que se agudiza por la existencia de una zona compacta entre los 14–20 cm del perfil de suelo, de aspecto muy denso y apretado de los agregados del suelo, que limita el movimiento vertical de las raíces, características del suelo estudiado (Alfonso *et al.*, 2007).

Por tales motivos, Chailloux (2003) y Real (2004) señalan que la alta concentración de raíces de tomate en un volumen limitado de suelo, hasta un 81 % de las raíces en los primeros 14 a 18 cm del perfil de suelo, puede provocar el agotamiento de los nutrientes disponibles en el bulbo húmedo, lo que obliga a su reposición con elevada frecuencia, aún cuando el análisis del suelo indique elevados contenidos de nutrientes.

A estas particularidades se unen además algunas limitaciones que desde el punto de vista químico, físico y biológico se vienen presentando en los suelos Ferralíticos Rojos bajo explotación intensiva; entre ellas la disminución de la materia orgánica, el incremento de la densidad aparente y el aumento del pH, indicadores que reflejan pérdidas de fertilidad y productividad de estos suelos según Monedero *et al.* (2004), Lino (2005) y Alfonso *et al.* (2006).

4.3.1.2. Calidad bromatológica en frutos de tomate.

En la *Tabla 11* se presentan los valores promedios de las variables de calidad bromatológica en frutos de tomate para los ensayos realizados en las dos épocas de plantación. Las relaciones N:K estudiadas no ejercieron un efecto significativo en los atributos de calidad bromatológica de los frutos para ninguno de los experimentos ejecutados, esta respuesta es consecuente con la estabilidad genética que caracteriza a los genotipos que se utilizan comúnmente en la tecnología.

Tabla 11. Indicadores de calidad bromatológica en frutos de tomate, híbrido HA 3019, para las dos épocas de estudio.

Variables	Época primavera-verano			Época de invierno		
	Rango	X ± Esx (CV)	P ¹	Rango	X ± Esx (CV)	P ¹
MS (%)	4,00–4,72	4,51 ± 0,034 (3,73 %)	0,5639	3,72–4,90	4,48 ± 0,057 (6,26 %)	0,4263
pH	4,10–4,33	4,24 ± 0,013 (1,52 %)	0,1236	4,05–4,20	4,14 ± 0,009 (1,07 %)	0,2347
SST (^o Brix)	4,52–4,83	4,65 ± 0,015 (1,64 %)	0,6931	4,25–4,75	4,55 ± 0,028 (2,97 %)	0,7841
AT (%)	0,37–0,42	0,39 ± 0,033 (4,83 %)	0,2698	0,35–0,45	0,39 ± 0,005 (7,47 %)	0,4015
Vitamina C (mg/100 g)	16,03–20,36	18,58 ± 0,281 (7,42 %)	0,1478	16,66–20,27	18,73 ± 0,203 (5,32 %)	0,2745
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	33,50–39,75	35,96 ± 0,346 (4,72 %)	0,0925	28,20–40,25	35,96 ± 0,657 (9,13 %)	0,2892
SST/AT	10,72–12,84	11,76 ± 0,127 (5,33 %)	0,5870	9,34–13,39	11,72 ± 0,206 (8,61 %)	0,6359
N (%)	1,93–2,73	2,22 ± 0,054 (11,98 %)	0,4759	3,60–4,08	3,91 ± 0,028 (3,61 %)	0,5639
P (%)	0,28–0,57	0,41 ± 0,002 (18,48 %)	0,1274	0,28–0,46	0,34 ± 0,011 (15,89 %)	0,2566
K (%)	4,16–5,91	4,96 ± 0,138 (13,70 %)	0,4702	4,36–5,75	4,94 ± 0,101 (10,11 %)	0,5023

MS: masa seca, SST: Sólidos solubles totales, AT: Acidez titulable.

¹ P ≥ 0,05: No existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K estudiadas.

Con relación a este comportamiento Feltrin *et al.* (2005), al estudiar diferentes niveles de K vía fertirriego en la calidad bromatológica de tres cultivares de tomate, encontraron que el efecto varietal se superpuso al efecto nutricional, demostrando que es más importante la selección de

cultivares con buenas características de calidad en frutos, que la fertilización utilizada. En igual sentido, Schuelter *et al.* (2005) y Darrigues *et al.* (2007) señalan que muchas de estas variables se encuentran bajo control genético y que las diferencias entre cultivares se utilizan como atributos de calidad deseables en los programas de mejoramiento genético.

No obstante, varios autores coinciden en plantear que la fertilización constituye uno de los factores de manejo agronómico que influye positivamente en la calidad bromatológica del fruto, dentro de ella la potásica (Ghebbi *et al.*, 2007; He *et al.*, 2007; Nouri *et al.*, 2007), la fertilización con Ca (Morgan, 1992; Arpaza *et al.*, 2004) y el aumento de la CE en la solución nutritiva para incrementar los SST, la AT y el contenido de licopeno en frutos (Goycovic y Saavedra, 2007).

De acuerdo con los valores obtenidos se observó, que los SST, el pH y la AT están dentro de los rangos establecidos como normales para el cultivo protegido del tomate (SST entre 4,00–5,50 °Brix, pH entre 4,00–4,40 y AT entre 0,20–0,40 %) según Prado (2003). Los SST y la AT determinan la intensidad en el sabor del fruto, la cual se expresa mediante la relación SST/AT (índice de madurez); intervalos de 10 a 18 indican una adecuada relación SST/AT para muchas variedades de tomate (Carmelo y Gómez, 2004; Giovannoni, 2004).

Para la vitamina C, Lenucci *et al.* (2006) establecen que su comportamiento depende del clima, del manejo agronómico y de la calidad del agua de riego. Los nitratos presentes en el fruto se mantuvieron por debajo del límite permisible según García-Roche (1991) para las condiciones de Cuba (150 mg/kg), mientras que los porcentajes de N, P y K son similares a los cuantificados por Armenta *et al.* (2001) y Ruíz (2006) para el tomate cultivado tanto a campo abierto como en condiciones protegidas.

Al analizar las investigaciones realizadas en Cuba, se pueden encontrar disímiles resultados en casas de cultivo, con diferentes híbridos de tomate y épocas de plantación. Chailloux (2003), y Salgado *et al.* (2005) en suelos Ferralíticos Rojos y González *et al.* (2004) en suelos Pardos sin Carbonatos, cuantificaron valores de SST, MS, vitamina C, pH, AT y porcentajes de K, de 4,10–4,30 %, 3,13–4,05 %, 9,41–10,93 mg/100g, 4,29–4,38, 0,41–0,48 % y 3,76–5,49 %, respectivamente. Indicadores bromatológicos similares obtuvieron Morales *et al.* (1996), González (1997) y Hernández *et al.* (2002) en diferentes cultivares de tomate a campo abierto (Campbell 28 y HC 3880) con valores dentro de los rangos establecidos como normales.

4.3.1.3. Calidad externa y conservación postcosecha en frutos de tomate.

Los estadísticos que definen el poder discriminante de las funciones canónicas obtenidas para la época primavera-verano (*Tabla 12*), derivadas del Análisis Factorial Discriminante, muestran diferencias estadísticas entre las relaciones N:K estudiadas en cuanto a las variables de calidad externa y postcosecha sólo en la dirección definida para la primera función.

La función 1 extrae un 88,20 % de la variabilidad total, con una alta correlación canónica (0,932). No se tuvo en cuenta en este análisis las pérdidas de masa por actividad fisiológica y por daños microbiológicos a los 22 días de vida en anaquel, teniendo en cuenta que los frutos ya habían perdido su valor comercial, al cuantificarse pérdidas superiores al 8 %, límite de aceptación comercial en frutos de tomate según Carmelo y Gómez (2004).

Tabla 12. Estadísticos de las funciones canónicas discriminantes obtenidas para la época primavera-verano.

Función	Valor propio	% de varianza	Correlación canónica	Lambda de Wilks	Significación
1	2,933	90,70	0,932	0,195	0,000
2	0,292	9,00	0,476	0,768	0,123

A partir del análisis de los coeficientes estandarizados (*Tabla 13*) se concluye que la función 1 discrimina a los tratamientos atendiendo a su comportamiento en los indicadores, porcentaje de frutos fuera de norma, pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 7 y 17 días postcosecha, diámetro del endocarpio y firmeza del fruto.

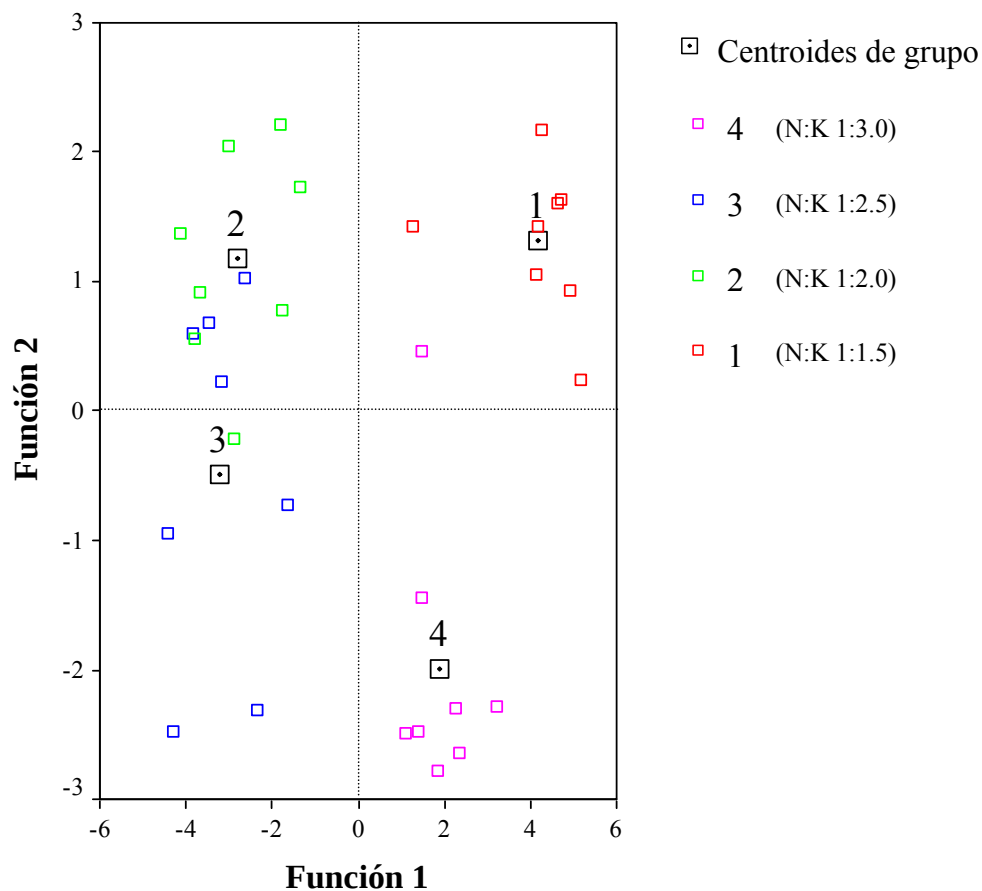
Tabla 13. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas obtenidas en la época de primavera - verano.

Variables	Función 1	Función 2
Firmeza del fruto (N)	-0,721	0,325
Color de la epidermis	-0,148	0,713
Diámetro del endocarpio (mm)	-0,801	-0,200
Grosor del mesocarpio (mm)	0,636	-0,236
Anomalías en el color interno (%)	-0,323	0,223
Frutos fuera de norma (%)	0,963	0,146
PMAF 7 días (%)	0,874	0,143
PMAF 12 días (%)	-0,244	0,172
PMAF 17 días (%)	0,805	-0,078
PDM 17 días (%)	0,591	-0,505

PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica, PDM: Pérdidas por daños microbiológicos.

En la *Figura 15* aparece la representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas y los centroides de los grupos o tratamientos. El Análisis Factorial Discriminante permitió clasificar correctamente el 84,40 % de los casos agrupados originales en la época primavera-verano. El ajuste logrado se considera válido según Hair *et al.* (1999).

La primera función separa a los tratamientos en sentido horizontal, situando a la derecha las relaciones N:K 1:1.5 y 1:3.0, estos tratamientos presentaron los mayores porcentajes de frutos fuera de norma y de pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 7 y 17 días postcosecha (signos positivos en la función), así como el menor diámetro del endocarpio y de la firmeza del fruto (signos negativos en la función). Por tales motivos, el mejor comportamiento en cuanto a



Tratamientos	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
	1	2	3	4	
T1: 1:1.5	8	0	0	0	8
T2: 1:2.0	0	7	1	0	8
T3: 1:2.5	0	4	4	0	8
T4: 1:3.0	0	0	0	8	8

Clasificados correctamente el 84,40 % de los casos agrupados originales.

Valores medios de los indicadores de calidad externa y postcosecha cuantificados en la época primavera-verano.

Variables	Relación N:K			
	1:1.5	1:2.0	1:2.5	1:3.0
Firmeza del fruto (N)	46,52	53,16	50,99	46,57
Color de la epidermis	10,65	10,27	10,39	10,56
Diámetro del endocarpio (mm)	63,10	63,30	63,34	65,11
Grosor del mesocarpio (mm)	6,93	6,95	7,08	7,10
Anomalías en el color interno (%)	49,38	43,37	44,38	48,75
Frutos fuera de norma (%)	4,46	2,61	2,82	4,17
PMAF 7 días (%)	2,37	2,30	2,47	2,45
PMAF 12 días (%)	4,91	4,41	4,76	4,97
PMAF 17 días (%)	6,61	5,43	6,29	7,85
PDM 17 días (%)	20,29	8,28	8,33	21,12

PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica, PDM: Pérdidas por daños microbiológicos

Figura 15. Representación gráfica de las relaciones N:K y centros de gravedad de los tratamientos para la época primavera-verano según el Análisis Factorial Discriminante utilizado.

las variables analizadas correspondió a las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5. Ambas variantes ocupan una posición muy similar respecto al primer eje discriminante.

En la época de invierno (*Tabla 14*), las funciones 1 y 2 indican que existe significación estadística entre los tratamientos a partir de su comportamiento en los indicadores analizados. Ambas funciones extraen el 99,60 % de la varianza total, con una alta correlación canónica; a la primera función le corresponde un poder discriminante de 80,90 %.

Tabla 14. Estadísticos de las funciones canónicas discriminantes obtenidas en la época de invierno.

Función	Valor propio	% de varianza	Correlación canónica	Lambda de Wilks	Significación
1	17,080	80.90	0,972	0,014	0,000
2	2,617	18.70	0,851	0,256	0,018

Se obtuvo, para la función 1, como responsables de las diferencias entre los grupos la firmeza del fruto, las pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 17 días postcosecha, el porcentaje de frutos fuera de norma y el diámetro del endocarpio (*Tabla 15*), mientras que la función 2 discrimina a las relaciones N:K según el color de la epidermis y las pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 12 días postcosecha.

Tabla 15. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas obtenidas en la época de invierno.

Variables	Función 1	Función 2
Firmeza del fruto (N)	0,999	0,396
Color de la epidermis	-0,193	0,799
Diámetro del endocarpio (mm)	0,903	0,073
Grosor del mesocarpio (mm)	0,492	-0,194
Anomalías en el color interno (%)	0,386	-0,257
Frutos fuera de norma (%)	-0,914	0,345
PMAF 7 días (%)	-0,069	0,408
PMAF 12 días (%)	0,476	-0,738
PMAF 17 días (%)	-0,957	-0,334
PDM 17 días (%)	-0,312	0,211

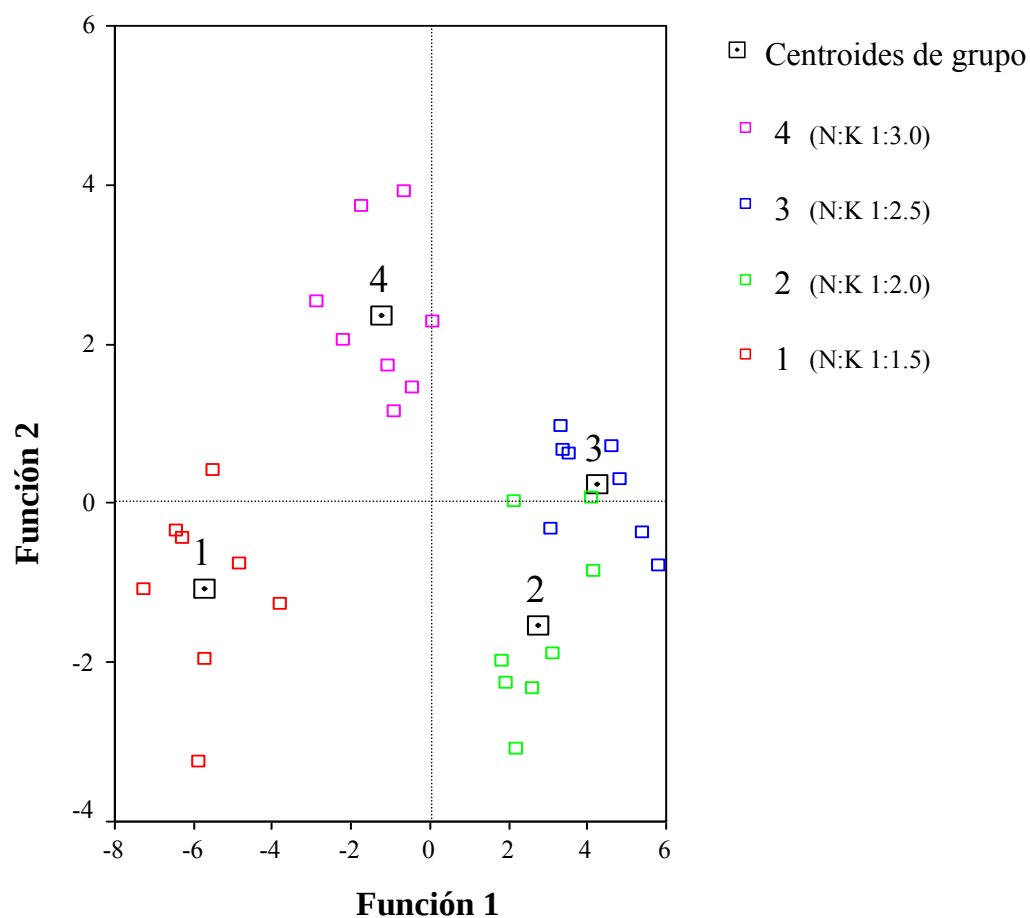
PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica, PDM: Pérdidas por daños microbiológicos.

El Análisis Factorial Discriminante permitió clasificar correctamente el 93,80 % de los casos agrupados originales en la época de invierno (*Figura 16*). La función 1 sitúa a la derecha las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5 por poseer valores superiores en cuanto a la firmeza del fruto y el diámetro del endocarpio, mientras que a la izquierda se agrupan los tratamientos que poseen el mayor porcentaje de frutos fuera de norma y las mayores pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 17 días de vida en anaquel (relaciones N/K 1:1.5 y 1:2.5).

La segunda función discriminante, que toma la dirección del eje de las ordenadas completa la distribución, separando los tratamientos 3 y 4 del resto, donde interviene con mayor peso y en sentido positivo la variable color de la epidermis, estas relaciones presentaron además las menores pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 12 días de vida en anaquel. Por tales motivos, realizando un análisis integral de los resultados se puede plantear que la relación N:K 1:2.5 mostró el mejor comportamiento en cuanto a las variables de calidad externa y vida en anaquel de los frutos, tratamiento que presentó además los mejores rendimientos de calidad extra + primera y totales, según lo discutido anteriormente.

Los resultados obtenidos demuestran que la fertilización potásica y la utilización de soluciones nutritivas equilibradas con una adecuada relación N:K en el fertirriego del tomate y en dependencia de la época de plantación, constituyen aspectos de manejo nutricional que permiten compatibilizar una buena formación del rendimiento con una adecuada calidad externa y vida en anaquel de los frutos.

La influencia de la fertilización mineral en la calidad y la vida en anaquel de los frutos de tomate ha sido abordada por varios autores. Por ejemplo, Locasio *et al.* (1984) señalan que la postcosecha puede afectarse tanto por un exceso como por un déficit de nutrientes ya que en



Tratamientos	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
	1	2	3	4	
T1: 1:1.5	8	0	0	0	8
T2: 1:2.0	0	7	1	0	8
T3: 1:2.5	0	1	7	0	8
T4: 1:3.0	0	0	0	8	8

Clasificados correctamente el 93,80 % de los casos agrupados originales.

Valores medios de los indicadores de calidad externa y postcosecha cuantificados en la época de invierno.

Variables	Relación N:K			
	1:1.5	1:2.0	1:2.5	1:3.0
Firmeza del fruto (N)	50,11	63,35	68,10	57,48
Color de la epidermis	10,24	10,63	11,04	11,02
Diámetro del endocarpio (mm)	50,83	63,12	65,61	60,44
Grosor del mesocarpio (mm)	6,09	6,06	6,12	6,10
Anomalías en el color interno (%)	33,75	32,71	28,55	30,44
Frutos fuera de norma (%)	3,44	1,38	1,33	3,76
PMAF 7 días (%)	3,44	2,53	2,29	2,62
PMAF 12 días (%)	4,78	3,90	3,25	3,40
PMAF 17 días (%)	7,95	6,39	5,35	5,54
PDM 17 días (%)	20,29	8,28	8,33	21,12

PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica, PDM: Pérdidas por daños microbiológicos

Figura 16. Representación gráfica de las relaciones N:K y centros de gravedad de los tratamientos para la época de invierno según el Análisis Factorial Discriminante utilizado.

ambos casos se producen desequilibrios nutricionales que alteran el crecimiento de la planta y como consecuencia, la composición del fruto y su resistencia a la conservación.

Por su parte, Adams y Grimmett (1986) al probar seis niveles de K en hidroponía, encontraron que los frutos cultivados a la más baja concentración fueron más blandos que aquellos obtenidos a los niveles más altos de K, debido a la pérdida de calidad de la pared del tejido. Francis (2000), Mulholland *et al.* (2001) e Iglesias (2008) señalan la necesidad de ajustar los niveles de nutrientes en la solución nutritiva, principalmente N, K y Ca, de manera que permitan aminorar la incidencia de determinados desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración del fruto.

Es importante también, al diseñar una solución nutritiva, tener en cuenta el equilibrio entre los cationes K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} para evitar posibles efectos antagónicos entre ellos, lograr altos rendimientos, excelente calidad de la cosecha y prolongar la vida en anaquel de los frutos. En este sentido Subbiah y Perumal (1990) encontraron una relación inversa entre el contenido de licopeno en frutos y la concentración de Ca^{++} en la solución nutritiva, debido a una disminución en la absorción de K^+ , mientras que altos niveles de K^+ y Mg^{++} pueden aumentar la incidencia de la pudrición apical y reducir la fortaleza de las paredes celulares (Del Amor y Marcelis, 2006).

4.3.2. Etapa de validación.

4.3.2.1. Evaluación de las relaciones N:K en los indicadores de producción y calidad de los frutos en la fase de validación.

Para comprobar los resultados obtenidos en la etapa experimental, se evaluaron en la etapa de validación las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5. La selección de las variantes a estudiar se basó en los resultados obtenidos para cada época de estudio. En la época primavera-verano se encontró de

manera general un comportamiento similar en las variables evaluadas entre estos dos tratamientos, mientras que en la época de invierno los mejores resultados productivos y de calidad del fruto se obtienen con la variante de producción, la relación N:K 1:2.5. En la *Tabla 16* se presentan los resultados obtenidos en la etapa de validación.

Tabla 16. Respuesta de las diferentes variables evaluadas durante la fase de validación ante las relaciones N:K estudiadas en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Variables	Época primavera - verano			Época de invierno		
	Esx y			Esx y		
	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5	significación	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5	significación
Rend. calidad extra (t/ha)	43,33	34,76	1,680 **	33,46	41,87	1,860 **
Rend. primera (t/ha)	16,61	22,06	1,089 **	25,42	33,38	1,557 **
Rend. calidad E + P (t/ha)	59,94	56,82	0,764 ns	58,89	75,25	1,294 ***
Rend. calidad segunda (t/ha)	6,16	6,12	0,105 ns	8,79	6,24	0,498 *
Rend. total (t/ha)	66,09	62,94	1,072 ns	67,67	81,49	1,288 ***
NF calidad extra (u)	11,12	9,29	0,425 **	9,50	14,00	0,940 ***
NF calidad primera (u)	3,14	4,88	0,240 *	5,01	5,18	0,335 ns
NF calidad E + P (u)	14,26	14,16	0,361 ns	14,51	19,18	1,010 ***
NF calidad segunda (u)	5,95	5,70	0,178 ns	3,25	2,50	0,295 **
NF totales (u)	20,21	19,87	0,366 ns	17,76	21,68	1,014 ***
MPF (g)	186,76	184,26	2,216 ns	185,75	209,27	3,586 **
Frutos fuera de norma (%)	7,02	7,66	0,401 ns	4,08	2,79	0,426 **
PMAF 7 días (%)	2,59	2,35	0,122 ns	3,24	3,21	0,293 ns
PMAF 12 días (%)	3,84	3,85	0,168 ns	6,31	4,24	0,286 **
PMAF 17 días (%)	5,92	5,85	0,254 ns	8,69	4,83	0,775 **
PMAF 22 días (%)	8,59	8,38	0,152 ns	-	6,63	0,645 **
PDM 17 días (%)	43,06	39,77	2,447 ns	55,57	22,20	3,813 *
PDM 22 días (%)	76,89	75,07	3,490 ns	100,00	31,18	3,047 *
Firmeza del fruto (N)	66,33	62,63	1,461 ns	69,05	71,63	1,237 ns
Masa seca (%)	4,43	4,49	0,055 ns	4,17	4,22	0,088 ns
pH	4,27	4,29	0,010 ns	4,13	4,18	0,011 ns
SST (°Brix)	4,61	4,61	0,015 ns	4,47	4,46	0,045 ns
Acidez titulable (%)	0,42	0,41	0,008 ns	0,43	0,44	0,006 ns
Vitamina C (mg/100 g)	18,93	19,35	0,393 ns	19,42	19,17	0,218 ns

Rend.: Rendimiento, E + P: extra + primera, NF: Número de frutos, MPF: masa promedio del fruto, PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica, PDM: pérdidas por daños microbiológicos y SST: Sólidos solubles totales.

ns: No existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K validadas para $P \leq 0,05$.

*, ** y ***: Existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K para $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,001$ respectivamente.

Al analizar las variables evaluadas en la época primavera-verano se encontró que el mejor tratamiento, teniendo en cuenta la calidad extra, tanto en rendimiento como en número de frutos,

correspondió a la relación N:K 1:2.0, para estas variables se determinó, con relación a la variante de producción, un incremento de 24,65 y 19,69 % respectivamente.

En la calidad primera se obtuvo un comportamiento inverso y los mayores valores se cuantificaron en la relación N:K 1:2.5. Las relaciones N:K validadas en esta época fueron estadísticamente similares en cuanto a rendimiento y número de frutos extra + primera y total, así como en la masa promedio del fruto, el porcentaje de frutos fuera de norma, las pérdidas postcosecha, la firmeza del fruto y las variables de calidad bromatológica.

En la época de invierno se encontró, que las producciones extra, primera, extra + primera y total fueron estadísticamente superiores en el testigo de producción con respecto a la relación N:K 1:2.0 en un 25,13, 31,31, 27,78 y 20,42 % respectivamente; en esta variante se cuantificó además un menor rendimiento en la calidad segunda (29,01 %). Similar comportamiento se obtuvo en el número de frutos por planta y en la masa promedio del fruto.

En la relación N:K 1:2.5 se determinó además un menor porcentaje de frutos fuera de norma y valores inferiores de pérdidas postcosecha a partir de los 12 días de conservación. Hay que señalar que en el testigo de producción se cuantificaron, a los 22 días de vida en anaquel, pérdidas de masa por actividad fisiológica inferiores al 8 %, lo que indica que los frutos en la relación N:K 1:2.5 mantenían su valor comercial al final de la postcosecha, con una reducción de las pérdidas por daños microbiológicos de 68,82 % respecto a la relación N:K 1:2.0.

Los resultados obtenidos en la etapa de validación confirman los alcanzados en la etapa experimental. Por tales motivos, resulta factible desde el punto de vista productivo utilizar, en la época primavera-verano la relación N:K 1:2.0 en los programas de fertirriego del tomate. La

nueva propuesta permite obtener un rendimiento total de 66,06 t/ha, con un 90,69 % de la producción en la calidad extra + primera, similares al testigo de producción. En cambio, en la época de invierno es recomendable mantener lo recomendado en el Instructivo Técnico vigente, correspondiente a la relación N:K 1:2.5, con rendimientos totales de 81,49 t/ha y un porcentaje de la producción en la calidad extra + primera de 92,34 %.

4.4. Efecto de la relación N:K en la extracción de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate.

La absorción total de macronutrientes (*Figura 17*) en plantas de tomate muestra, al igual que las variables de crecimiento evaluadas, un modelo sigmoideal con valores de R^2 altos y significativos. La absorción de nutrientes aumenta con la edad del cultivo y su máxima magnitud (α) se cuantificó en el período de plena producción o fase IV.

Los valores de α para los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg en la época de invierno tendieron a ser superiores en un 17,01, 10,74, 37,46, 13,37 y 33,46 % respectivamente, con relación a la época primavera-verano. Hay que tener en cuenta que durante el invierno se cuantificó una mayor acumulación de biomasa y rendimiento, lo que pudo incidir en una mayor absorción de nutrientes para sustentar el crecimiento y la producción en plantas de tomate.

La máxima tasa de absorción para el N, el P, el K, el Ca y el Mg se produce entre los 45,16–50,96, 49,61–60,40, 52,94–58,68, 47,91–49,64 y 51,68–57,00 ddt respectivamente, momentos que coinciden con la fase III del ciclo del cultivo. Lo anterior pone de manifiesto, que las etapas de máximo crecimiento se relacionan también con las fases de mayor absorción de nutrientes.

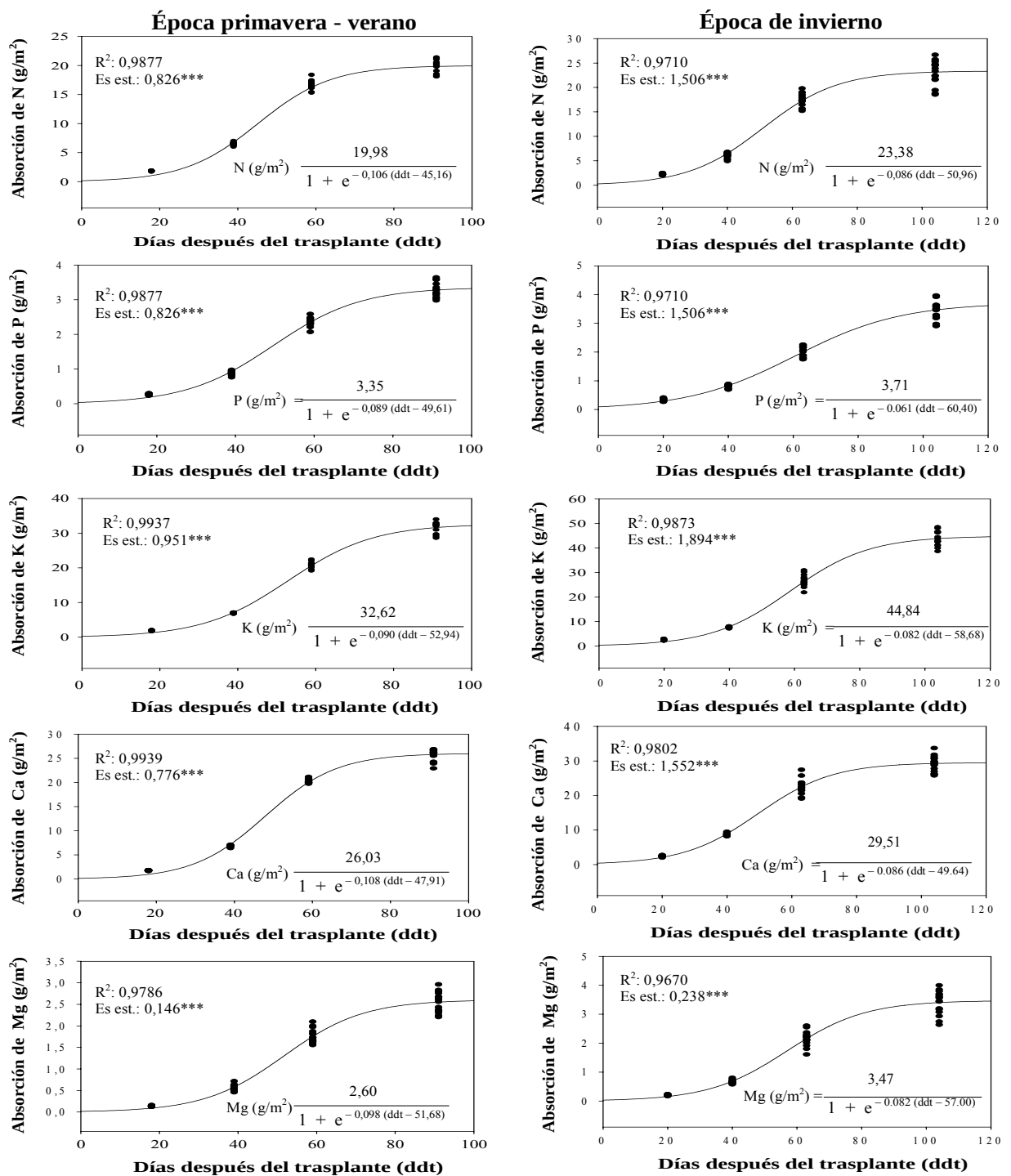


Figura 17. Curvas de tendencias y coeficientes de determinación que caracterizan la dinámica de absorción de macronutrientes total durante el ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Al analizar la absorción total de macronutrientes que realiza el tomate al final de las fases III y IV en la época primavera-verano (*Figura 18*), se encontró significación estadística entre tratamientos sólo para la fase IV. La absorción de N, K, Ca y Mg fue superior en las plantas que recibieron las relaciones N:K 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0, por lo que los menores valores correspondieron a la variante 1 (N:K 1:1.5). En cambio, la mayor absorción de N, K y Ca en la época de invierno se cuantificó en la relación N:K 1:2.5, mientras que los tratamientos 2 y 3 reflejaron similares valores para el Mg (*Figura 19*).

De forma general, el comportamiento de la absorción de macronutriente en el cultivo protegido del tomate ante la aplicación de diferentes relaciones N:K mostró una tendencia similar a la encontrada para la biomasa, menores valores en la relación N:K 1:1.5 y similares para los tratamientos 2, 3 y 4 (relaciones N:K de 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0) en la época primavera-verano, y una mayor absorción en la relación N:K 1:2.5 durante la época de invierno.

Por tales motivos y teniendo en cuenta que se encontraron diferencias significativas entre las variantes estudiadas para la acumulación de biomasa y no para la concentración de macronutrientes por órganos (*Anexo A10*), se puede plantear que la respuesta de la planta en cuanto a absorción de nutrientes se debe solamente a la primera variable.

Al analizar los tratamientos donde se obtuvo la mejor estructura del rendimiento, se encontró que la utilización de una relación N:K de 1.2.0, durante la época primavera-verano, permitió una absorción de: 20,45g N/m², 3,36 g P/m², 32,45 g K/m², 26,25 g Ca/m² y 2,59 g Mg/m², mientras que en la época de invierno, la absorción que se obtiene con una relación N:K de 1:2.5 fue de: 27,32 g N/m², 3,52 g P/m², 48,33 g K/m², 30,30 g Ca/m² y 3,66 g Mg/m².

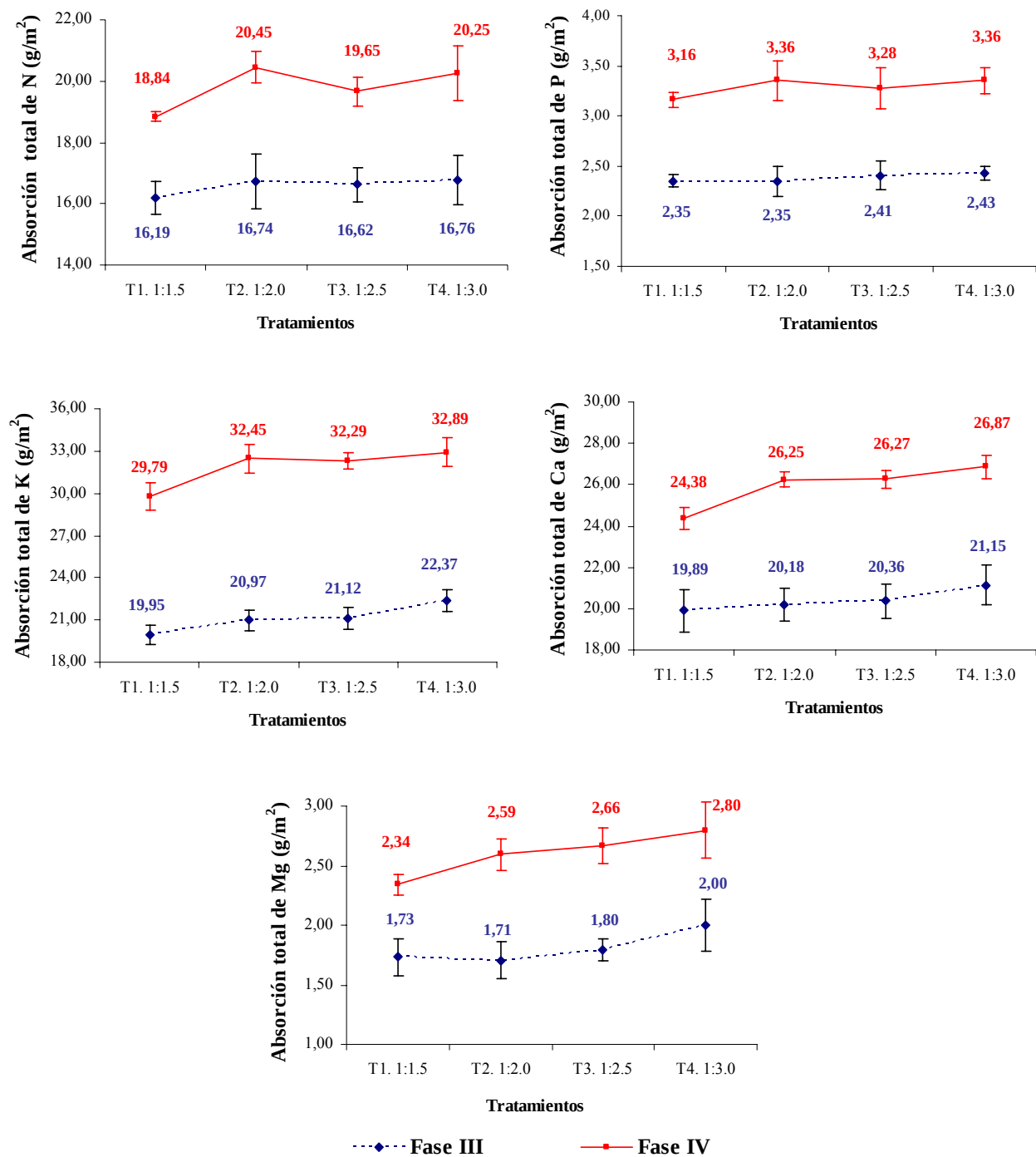


Figura 18. Efecto de las relaciones N:K en la absorción total de nutrientes al final de las fases III y IV del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019. Las barras indican los intervalos de confianza para cada tratamiento en la época primavera-verano.

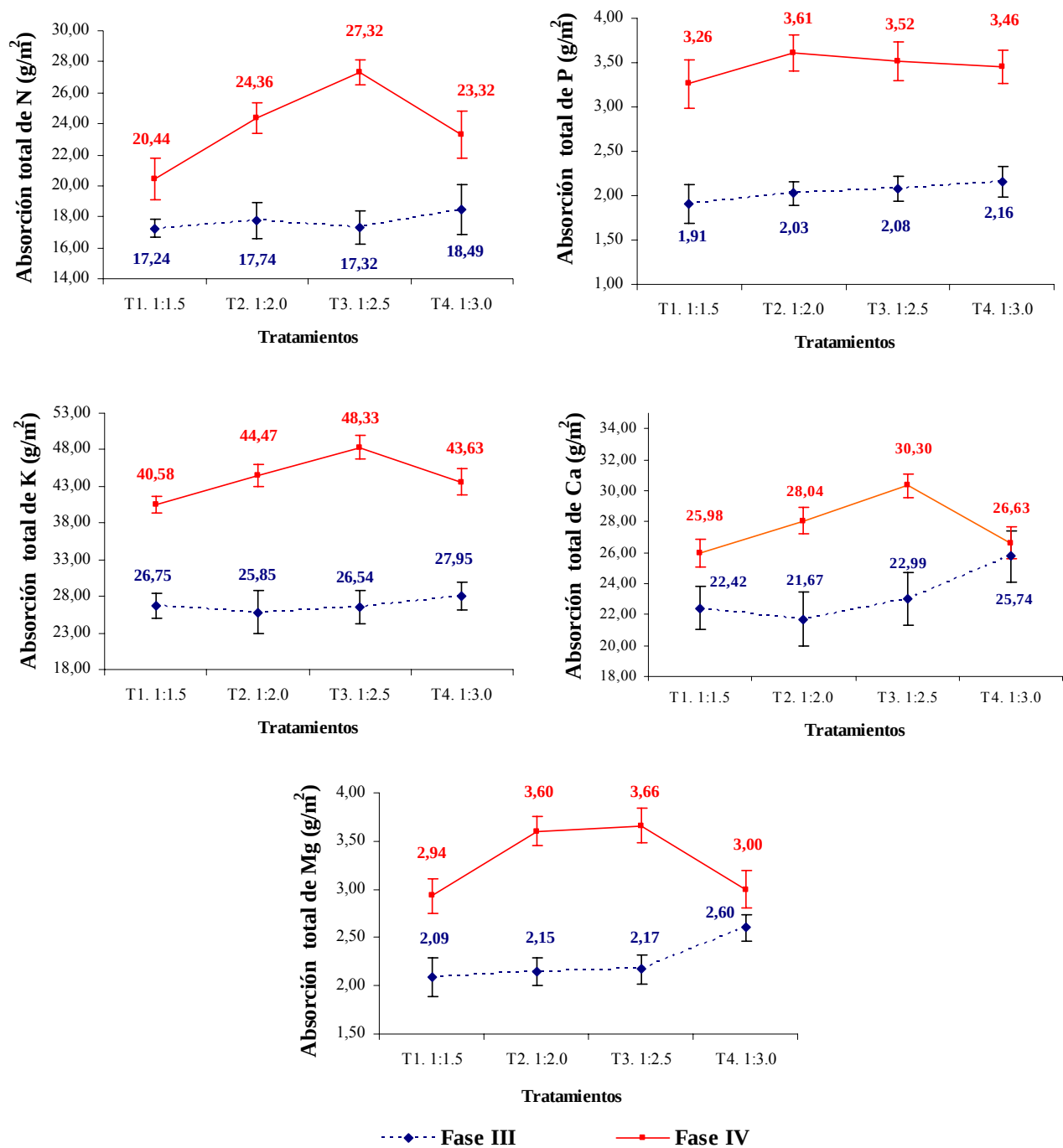


Figura 19. Efecto de las relaciones N:K en la absorción total de nutrientes al final de las fases III y IV del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019. Las barras indican los intervalos de confianza para cada tratamiento en la época de invierno.

En cuanto a la extracción que realiza el cultivo para producir una tonelada de fruto se obtuvo, en la época primavera-verano, con la relación N:K 1:2.0, valores de 2,75 kg N/t, 0,475 kg P/t, 4,36 kg K/t, 3,52 kg Ca/t y 0,34 kg Mg/t. En la época de invierno, con la relación N:K 1:2.5, se cuantificó una extracción de: 3,27 kg N/t, 0,42 kg P/t, 5,78 kg K/t, 3,63 kg Ca/t y 0,44 kg Mg/t.

Los valores de extracción calculados, son similares a los rangos establecidos por Abdalla *et al.* (2002) y Samalvide y Moltini (2006) en el cultivo protegido del tomate (2,80–3,25 kg N/t, 0,32–1,01 kg P/t, 3,64–6,60 kg K/t, 1,17–3,22 kg Ca/t y 0,40–0,90 kg Mg/t) y por Cardoza *et al.* (1985) y Maestrey *et al.* (1987) a campo abierto (2,28–5,16 kg N/t, 0,29–0,91 kg P/t, 3,72–5,53 kg K/t, 2,35 kg Ca/t y 0,32–0,87 kg Mg/t), lo que indica que existen aspectos de la fisiología del tomate que son propios de la especie e independientes del sistema de cultivo.

La diferencia entre ambos sistemas de cultivo radica, principalmente, en los niveles de rendimientos que se obtienen, lo que provoca que las extracciones totales y las dosis de fertilizantes que se aplican en casas de cultivo sean superiores a las de campo abierto. Es necesario considerar además otras particularidades que condicionan la nutrición en este sistema, entre ellas la intensidad de la explotación, la presencia de un sistema radical limitado y las pérdidas de nutrientes acumulados en los deshojes, deshojes y demoliciones que se realizan (Chailloux, 2003).

Los índices calculados en la presente investigación pueden ser utilizados en las condiciones de suelos Ferralíticos Rojos para realizar un programa de fertilización racional, en el cultivo protegido del tomate, teniendo en cuenta, el rendimiento esperado, las etapas fenológicas y la época de plantación. También pueden emplearse como referencia en condiciones edafoclimáticas diferentes, siempre que se tenga en cuenta que cada explotación agrícola necesitará de un seguimiento específico a partir del monitoreo del sistema suelo-planta-agua.

4.5. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el estado nutricional en plantas de tomate.

En la *Figura 20* aparece el efecto de las relaciones N:K estudiadas en la concentración de macronutrientes en hojas indicadoras para la época primavera-verano. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de N a los 52, 60 y 72 ddt y los mayores valores correspondieron a los tratamientos 2, 3 y 4.

El porcentaje de K reflejó significación estadística a los 52, 60, 72 y 84 ddt y de forma general el mejor comportamiento correspondió a la relación N:K 1:2.0, variante donde se obtienen los mayores rendimientos de calidad extra + primera. El aumento de la concentración de K^+ en la solución nutritiva no afectó los contenidos foliares de Ca y Mg, al observarse un comportamiento estadísticamente similar entre los tratamientos estudiados.

Durante la época de invierno (*Figura 21*) las relaciones N:K estudiadas ejercieron un efecto diferenciado en la concentración de N a los 53, 64 y 76 ddt y del P foliar a los 76, 105 y 120 ddt. Los mayores valores para el N a los 53 ddt y para el P a los 76 ddt, se alcanzaron con la relación N:K 1:2.5. Para el resto de los muestreos se obtuvo, de forma general, que las plantas fertirrigadas con relaciones N:K de 1:2.5 y 1:3.0 mostraron concentraciones de N y P foliar superiores al resto de los tratamientos, con un comportamiento similar entre ellas.

El K foliar mostró diferencias estadísticas a los 53, 64 y 88 ddt y sus porcentajes fueron superiores en la relación N:K 1:2.5, mientras que el Ca y el Mg foliar tienden a aumentar con el incremento de la concentración de K^+ en el fertirriego, con valores significativamente superiores en T3 y T4 (N:K 1:2.5 y 1:3.0) a los 88 y 105 ddt.

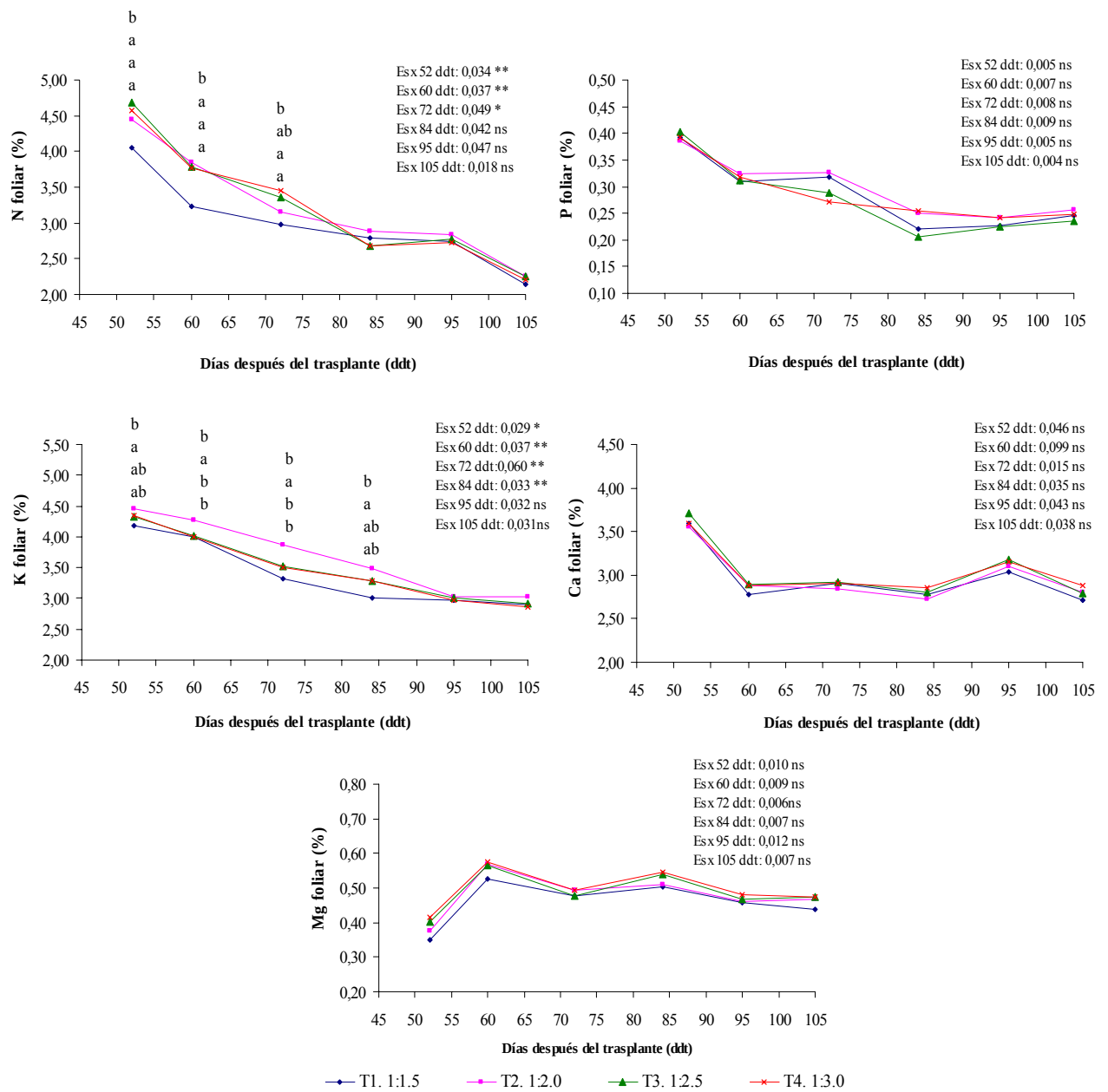


Figura 20. Efecto de la relación N:K en la concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para la época primavera-verano.

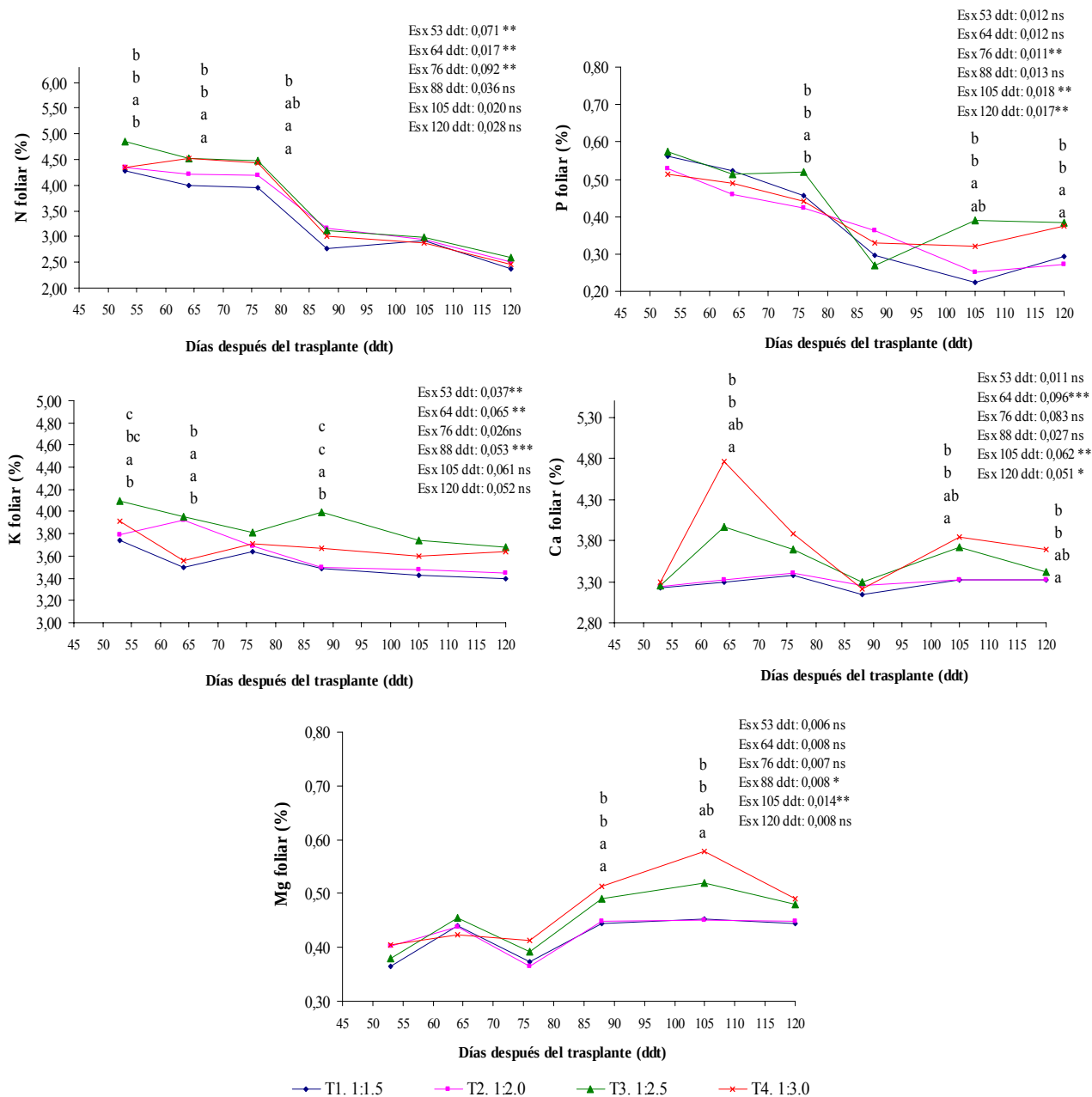


Figura 21. Efecto de la relación N:K en la concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para la época de invierno.

Según los resultados obtenidos se puede plantear que el aumento de la concentración de K^+ en la solución nutritiva para el fertirriego en el cultivo protegido del tomate, puede ejercer un efecto sinérgico en la acumulación de N y P foliar, aún cuando las plantas recibieron igual dosis de los elementos. Resultados similares obtuvieron Khosla y Papadopoulos (2002) y Ruíz (2006).

El mejor estado nutricional de la planta, teniendo en cuenta el efecto de las relaciones N:K estudiadas en los porcentajes foliares de macronutrientes se obtuvo en aquellas variantes donde se cuantificó el mayor rendimiento de calidad comercial (extra + primera), la relación N:K 1:2.0 para la época primavera-verano y la relación N:K 1:2.5 para la época de invierno.

Se observó además que el aumento en el suministro de K^+ vía fertirriego, para garantizar las relaciones N:K estudiadas, no ejerció un efecto negativo en la concentración foliar de Ca^{++} y Mg^{++} , debido posiblemente a la utilización, según lo recomendado, de soluciones nutritivas con una adecuada relación $K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$ en todos los tratamientos estudiados. Esto demuestra la importancia de mantener un equilibrio apropiado entre estos cationes al diseñar programas de fertirriego para el cultivo protegido del tomate, pues según Fanasca *et al.* (2005) la adición de altas dosis de K puede resultar en una disminución de la absorción de Ca y Mg por la planta.

Además, Jarván y Poldma (2004) indican, que no sólo es necesario tener en cuenta la cantidad de Ca^{++} y Mg^{++} intercambiable en el suelo sino también su proporción con el resto de los cationes presentes en el complejo de cambio, debido a que los coloides del suelo tienden a adsorber con más fuerza los cationes divalentes (Ca^{++} y Mg^{++}) que los monovalentes (K^+ y NH_4^+), por lo tanto estos últimos pasan con más facilidad a la solución del suelo, dificultando la absorción de los divalentes.

4.5.1. Diagnóstico de la nutrición mediante el análisis foliar.

En la *Tabla 17* aparecen las ecuaciones y los coeficientes de determinación que caracterizan la relación entre la concentración foliar de N, K y la relación N:K para cada momento de muestreo y el rendimiento relativo del cultivo en las dos épocas de estudio.

Tabla 17. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación que muestran la relación entre la concentración de N, K y la relación N:K foliar con el rendimiento relativo en el cultivo protegido del tomate, HA 3019.

Época	Nutriente	Muestras (ddt)	Ecuaciones de regresión	R ²	y ^{90 %}	y ^{100 %}
Primavera - verano	N	40	$y = 11,137 - 0,1554 x + 0,0009 x^2$	0,5949**	4,67	4,88
		52	$y = 10,038 - 0,1428 x + 0,0008 x^2$	0,8421***	4,06	4,25
		60	$y = 5,1455 - 0,0363 x + 0,0002 x^2$	0,9391***	3,76	3,85
		72	$y = 20,716 - 0,4113 x + 0,0024 x^2$	0,9086***	2,82	3,19
		84	$y = 14,957 - 0,2793 x + 0,0016 x^2$	0,8979***	2,65	2,87
	K	40	$y = 9,9711 - 0,1125 x + 0,0006 x^2$	0,9750***	4,92	4,99
		52	$y = 1,8213 + 0,0457 x - 0,0002 x^2$	0,8567***	4,34	4,42
		60	$y = 13,741 - 0,2296 x + 0,0013 x^2$	0,9055***	3,98	4,24
		72	$y = 9,843 - 0,1651 x + 0,001 x^2$	0,8549***	3,48	3,83
		84	$y = 2,673 + 0,008 x + 0,000002 x^2$	0,8526***	3,38	3,46
	N:K	40	$y = 1,283 - 0,0097 x + 0,00007 x^2$	0,6019**	0,94	0,98
		52	$y = 2,8788 - 0,0432 x + 0,0002 x^2$	0,9999***	0,94	0,96
		60	$y = -0,9159 + 0,0429 x - 0,0002 x^2$	0,9011***	0,94	0,90
		72	$y = 4,6081 - 0,0826 x + 0,0004 x^2$	0,5082*	0,81	0,84
		84	$y = 4,6165 - 0,0849 x + 0,0005 x^2$	0,9962***	0,78	0,83
Invierno	N	41	$y = 1,9163 + 0,0703 x - 0,0004 x^2$	0,9898***	5,28	5,29
		53	$y = 11,35 - 0,1822 x + 0,0012 x^2$	0,9972***	4,45	4,86
		64	$y = -1,197 + 0,112 x - 0,0005 x^2$	0,7114**	4,44	4,52
		76	$y = -3,668 + 0,168 x - 0,0009 x^2$	0,9973***	4,28	4,28
		88	$y = 0,866 + 0,0425 x - 0,0002 x^2$	0,8166***	3,06	3,11
	K	41	$y = 5,1127 - 0,0189 x + 0,0001 x^2$	0,6001**	4,32	4,34
		53	$y = 4,5017 - 0,0285 x + 0,0002 x^2$	0,9404***	3,92	4,09
		64	$y = -0,143 + 0,072 x - 0,0003 x^2$	0,5448*	3,82	3,95
		76	$y = 3,8387 - 0,0097 x + 0,0001 x^2$	0,9956***	3,73	3,81
		88	$y = 7,8695 - 0,1175 x + 0,0008 x^2$	0,9418***	3,67	3,99
	N:K	41	$y = 0,2196 + 0,0216 x - 0,0001 x^2$	0,9181***	1,22	1,22
		53	$y = 2,6886 - 0,0372 x + 0,0002 x^2$	0,7734***	1,14	1,19
		64	$y = 0,722 + 0,0115 x - 0,00007 x^2$	0,0351 ^{ns}	—	—
		76	$y = -1,053 + 0,0487 x - 0,0003 x^2$	0,9822***	1,15	1,12
		88	$y = -0,675 + 0,0372 x - 0,0002 x^2$	0,6727**	0,84	0,78

y^{90 %}: Concentración de N, K y relación N:K estimadas para un rendimiento relativo del 90 %

y^{100 %}: Concentración de N, K y relación N:K estimadas para un rendimiento relativo del 100 %

A excepción de la relación N:K a los 64 ddt en la época de invierno, en el resto de los muestreos se obtuvieron valores de R^2 altos y significativos, lo que indica una estrecha relación entre las variables analizadas. Las ecuaciones identificadas se utilizaron para estimar las concentraciones de N, K y la relación N:K foliar al 90 % y 100 % del rendimiento máximo relativo con vistas a construir la *Figura 22*.

El valor del RCN está comprendido entre la distancia vertical de las dos curvas. Los índices críticos obtenidos (*Tabla 18*) a partir de la aplicación de la metodología del RCN pueden tomarse como indicadores para diagnosticar el estado nutricional del tomate en condiciones de casas de cultivo y en dependencia de la época de plantación.

Tabla 18. Rangos de concentración crítica de N, K y relación N:K foliar para cada momento de muestreo y época estudiada, estimados a partir de las curvas que relacionan sus concentraciones al 90 y 100 % del rendimiento máximo y los días de evaluación.

Época	Muestreos (ddt)	N		K		N:K	
		90 %	100 %	90 %	100 %	90 %	100 %
Primavera – verano	40	4,71	4,90	4,94	4,96	0,95	0,99
	52	4,02	4,21	4,29	4,48	0,94	0,94
	60	3,61	3,81	3,94	4,20	0,91	0,90
	72	3,05	3,27	3,57	3,81	0,84	0,86
	84	2,56	2,84	3,34	3,47	0,76	0,82
Invierno	41	5,09	5,20	4,29	4,35	1,17	1,19
	53	4,82	4,99	3,98	4,06	1,21	1,22
	64	4,44	4,61	3,79	3,91	1,17	1,17
	76	3,91	4,01	3,69	3,88	1,06	1,04
	88	3,24	3,22	3,69	3,96	0,87	0,81

Las concentraciones de N estimadas en la época de invierno tendieron siempre a ser superiores a las de la época primavera-verano, mientras que las de K fueron menores hasta el inicio de la cosecha. La mayor concentración de N foliar en la época de invierno, pudo estar determinada por el efecto que este nutriente tiene en el crecimiento de las plantas, por lo que una mayor

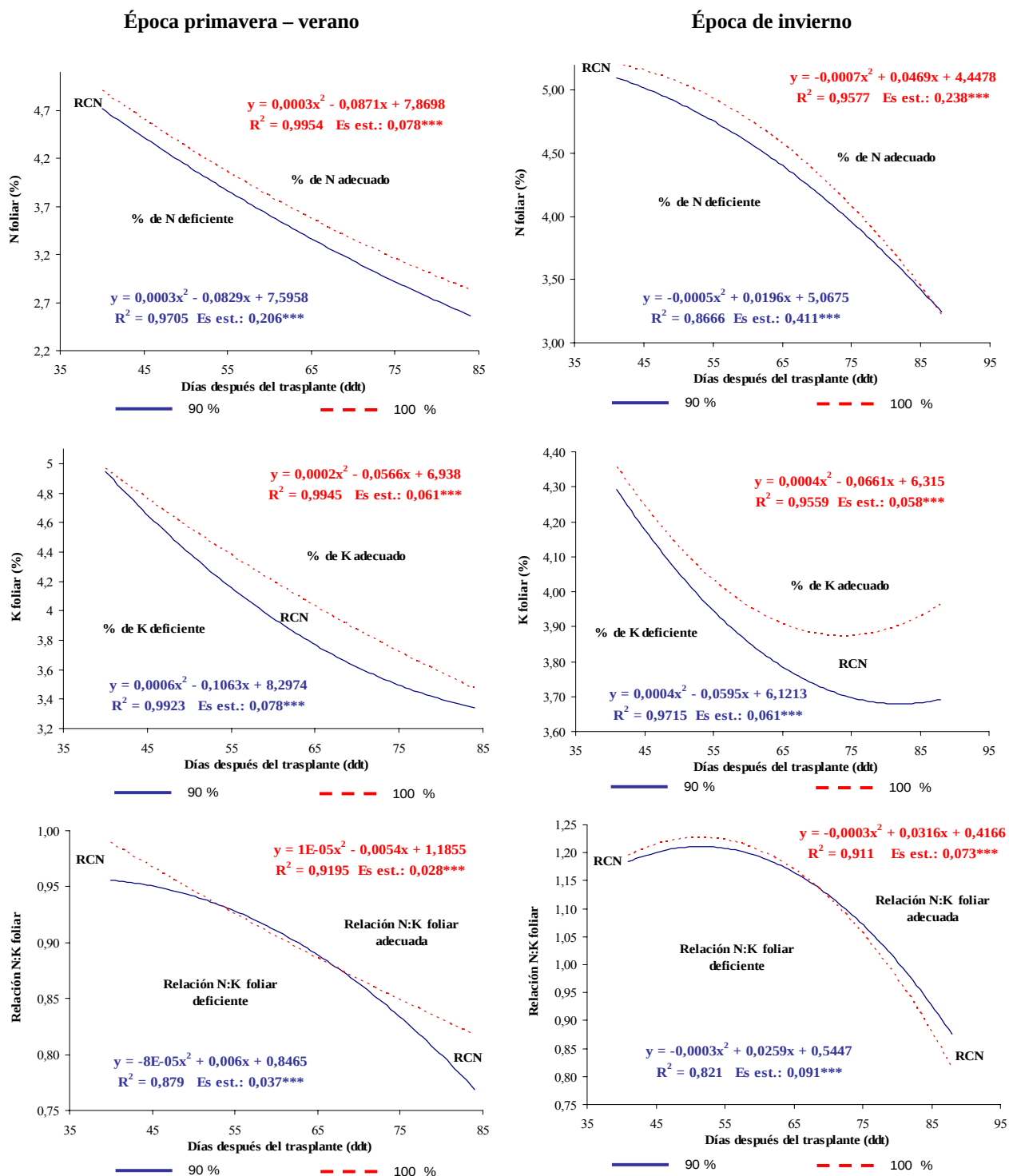


Figura 22. Rangos críticos foliares de N, K y relación N:K en dos épocas de plantación, para un período comprendido entre el cauje del tercer racimo y la etapa de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

acumulación de biomasa en plantas cultivadas durante la época de invierno, provocó una absorción superior de N y que este se reflejará en su estado nutricional.

En cambio, el menor porcentaje de K foliar puede explicarse por un efecto de dilución en una mayor biomasa aérea o por la presencia de caracteres productivos superiores en la época de invierno que provocó su movilización hacia el fruto en crecimiento, principal órgano demandante del elemento.

La concentración crítica de N, K y N:K foliar disminuyó con la edad de la planta. En la época de primavera-verano, los rangos críticos al inicio de la fase III (40 ddt), se mantuvieron entre 4,71–4,90 %, 4,94–4,96 % y 0,95–0,99 respectivamente y entre 2,56–2,84 %, 3,34–3,47 %, 0,76–0,82 en el período de plena producción (82 ddt). En la época de invierno, las concentraciones críticas al inicio de la fase III (41 ddt), oscilaron entre 5,09–5,20 % (N), 4,29–4,35 % (K) y 1,17–1,19 (N:K), mientras que en el período de plena producción se mantuvieron entre 3,24–3,22 % de N, 3,69–3,96 % de K y 0,87–0,81 N:K.

Al inicio de la cosecha, 60 ddt para la época primavera-verano, se estimó un rango de concentración de N y K entre 3,61–3,81 % y 3,94–4,20 % respectivamente, mientras que en la época de invierno (64 ddt) se cuantificaron valores entre 4,44–4,61 % para el N y entre 3,79–3,91 % para el K.

Los porcentajes de N y K cuantificados con el inicio de la cosecha, momento donde según Cadahía (2005) la planta refleja mejor su estado nutricional, coinciden con los establecidos como normales por Jones *et al.* (1991) y Bennett (1996), en el tomate a campo abierto, así como con los encontrados por Campbell (2000) y Castell (2008) en condiciones de cultivo protegido. Estos

autores establecen rangos de suficiencia, similares para ambos sistemas y valores que oscilan entre 3,50–4,76 % para el N y entre 3,78–4,37 % para el K.

Al analizar la relación N:K foliar se observa que el RCN cambia con la época de plantación. En la época primavera–verano, la relación N:K foliar estimada para un rendimiento relativo de 90 y 100 % tiende a ser menor a la cuantificada en invierno; este comportamiento se encuentra en correspondencia con el efecto encontrado a los tratamientos estudiados sobre los indicadores de cultivo evaluados.

De igual forma, se observaron variaciones en el RCN para la relación N:K en los diferentes momentos de muestreos. En el último muestreo de la época primavera–verano los valores estimados al 100 % tienden a ser superiores a los cuantificados con un rendimiento relativo del 90 %, mientras que en la época de invierno son inferiores. Las diferencias calculadas en la relación N:K, entre el 90 y el 100 % del rendimiento, son menores si se les compara con los elementos individuales, por lo que al parecer la planta tiende a mantener estable la relación entre estos dos nutrientes.

Estos resultados demuestran la naturaleza compleja de la nutrición mineral de las plantas por lo que se precisa, al realizar el diagnóstico nutricional del tomate en casas de cultivo, tener en cuenta todos los factores que inciden en la producción y absorción de nutrientes, entre ellos las fluctuaciones anuales del clima, las características propias de cada cultivar y las variaciones que presentan los distintos tipos de suelos.

En el sistema de cultivo protegido, el diagnóstico foliar adquiere especial significación debido a las posibilidades que ofrece este sistema de solucionar desórdenes nutricionales durante un

mismo ciclo de cultivo, no sólo por las bondades que ofrece el fertirriego, sino también por la propia intensidad con que se desarrolla la planta y su capacidad para responder, de manera rápida, a una corrección nutricional.

La aplicación de la metodología del RCN a las hortalizas en casas de cultivo constituye un paso importante y de utilidad práctica para el diagnóstico nutrimental en condiciones de producción y constituye una herramienta imprescindible para el monitoreo del fertirriego. Permite predecir además, desde etapas tempranas de desarrollo del cultivo, las posibles deficiencias nutricionales que puedan impedir la expresión de los máximos rendimientos.

4.6. Caracterización de la solución fertilizante y de la solución del suelo por época de estudio.

En la *Figura 23* aparece la caracterización de la solución fertilizante y de la solución del suelo en los tratamientos que recibieron la relación N:K 1:2.0, en la de época primavera-verano y 1:2.5 en la época de invierno. El pH de la solución fertilizante estuvo entre 6,23–6,32, mientras que en la solución del suelo fue de 7,00–7,19, ambos valores se consideran adecuados según lo establecido por Alarcón (2002) quien plantea que la correcta neutralización del ión HCO_3^- presente en el agua de riego, permitirá obtener un pH a la salida del gotero de 5,50–6,50 y entre 6,00–7,20 en la solución nutriente en contacto con las raíces.

Los valores de pH de la solución del suelo fueron inferiores a los del análisis químico de suelo (7,95 en H_2O y 7,61 en KCl al inicio de la validación), lo que indica que la utilización de ácidos para neutralizar los bicarbonatos del agua de riego constituye un aspecto de manejo nutrimental necesario para mitigar el efecto desfavorable de un incremento del pH en el desarrollo de los

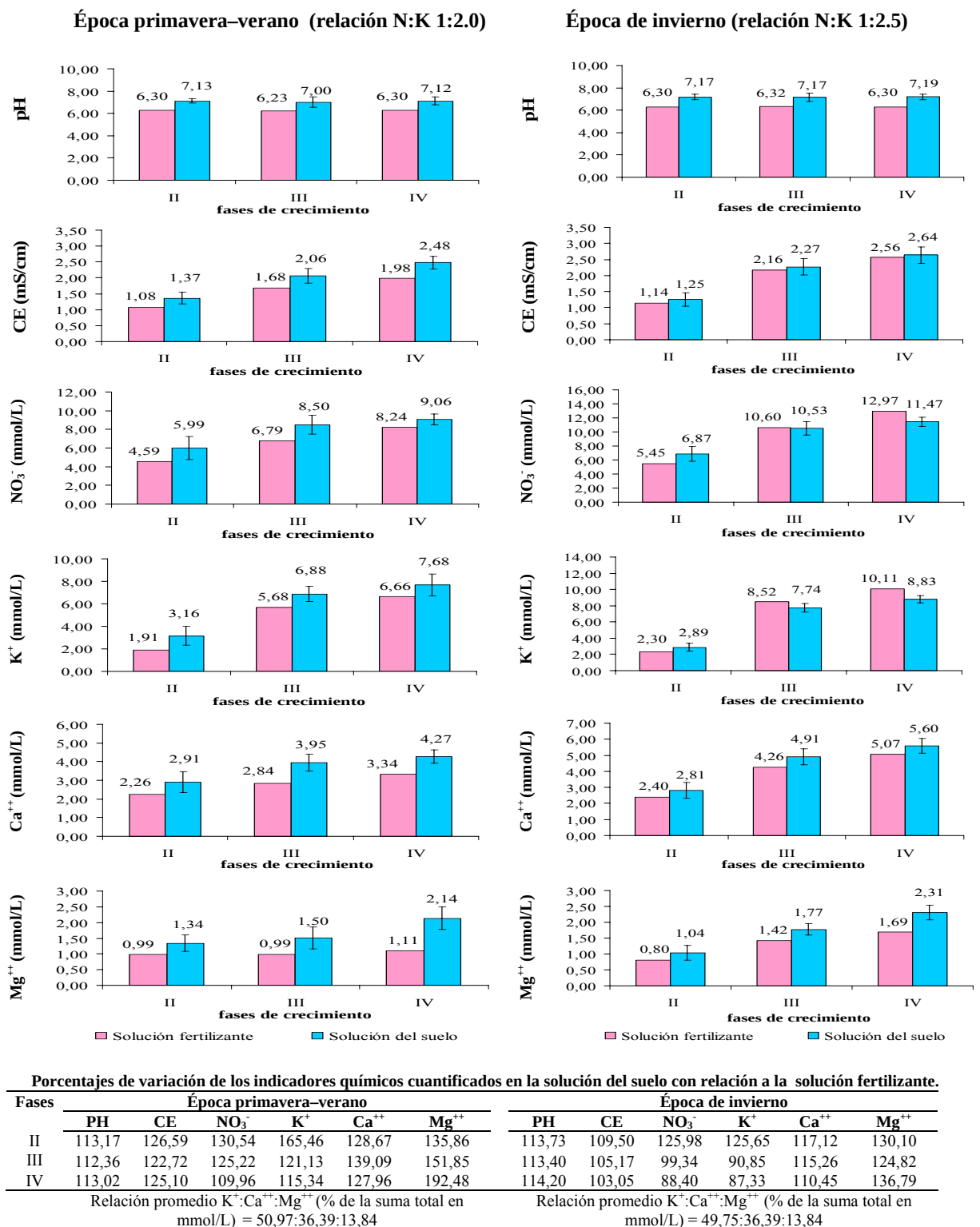


Figura 23. Valores medios de los indicadores químicos cuantificados en la solución fertilizante y en la solución del suelo para las fases II (n = 7), III (n = 6) y IV (n = 10) del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

cultivos, al garantizar el crecimiento de las raíces en un bulbo húmedo con un pH adecuado para la absorción de los nutrientes.

La CE promedio en la solución del suelo tendió a ser superior a la determinada en el emisor, con porcentajes que variaron entre 122,72–126,59 % (época primavera–verano) y 103,05–109,50 % (época de invierno). Por tal motivo, con las soluciones nutritivas propuestas para cada época de estudio, se logra efectuar una fertirrigación correcta si se tiene en cuenta que la CE en la solución del suelo puede ser superior a la cuantificada en el gotero hasta 1,50 mS/cm, según lo que establecen Alarcón (2002) e Imas (2002); una CE en la solución del suelo inferior a la emitida por el gotero muestra la necesidad de aumentar el aporte de nutrientes.

Durante la época primavera–verano, la concentración de NO_3^- en la solución del suelo tiende a ser superior, entre 109,96–130,54 %, a la determinada en el emisor en todas las fases del cultivo, mientras que en la época de invierno sólo se acumula en la fase II. En el aumento del NO_3^- de la solución del suelo, en la época primavera–verano, pudo incidir procesos de mineralización de la materia orgánica, los cuales se ven favorecidos por las altas temperaturas y un régimen de humedad favorable; condiciones que caracterizan el ambiente de una casa de cultivo.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que en la época de invierno se cuantificaron valores superiores de biomasa, rendimiento y extracción de nutrientes, factores que pudieron condicionar la disminución del NO_3^- en la solución del suelo para esta época de estudio.

La movilidad del NO_3^- en el suelo constituye otro de los factores que pudo incidir en las variaciones determinadas. Este anión se considera muy móvil y una vez en el suelo, no entra en las reacciones de intercambio que se producen con el complejo absorbente del suelo, por lo que

inmediatamente después de su aplicación estará disponible para las plantas. Lo anterior pudo traer como consecuencia que en el momento del muestreo ya la planta había consumido parte del NO_3^- aplicado y que su concentración en la solución del suelo disminuyera en las fases y épocas de mayor crecimiento.

Con relación a este anión, Casas (1999) plantea que el NO_3^- en la solución del suelo puede oscilar entre 75 y 125 % en función de la solución de entrada, mientras que Lao *et al.* (2004) encontraron, en condiciones de invernadero, que el NO_3^- se acumula en un 116,66 % en las fases de crecimiento vegetativo, mientras que en las etapas de plena producción las concentraciones se igualan, con períodos donde los valores en la solución del suelo son inferiores a la solución fertilizante. Por tales motivos, estos autores indican que el NO_3^- no constituye un indicador ideal para utilizarlo como criterio en el manejo racional de fertirriego.

No obstante, Imas (2002) y Cano y Rojo (2004) señalan que es necesario el monitoreo del NO_3^- ya que una baja concentración puede ser indicativo no sólo de una deficiencia de N, sino también de un excesivo régimen de riego con peligros de lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas.

La concentración de K^+ mostró un comportamiento similar al del NO_3^- , con una tendencia a acumularse en la solución del suelo en todas las fases del cultivo durante la época primavera-verano, y sólo en la fase II de la época de invierno. Los menores porcentajes de variación se cuantificaron en las fases III y IV, repuesta que se corresponde con las exigencias del cultivo, pues el tomate requiere de grandes cantidades de K en los períodos de llenado del fruto y de cosecha, necesarias para sustentar la formación del rendimiento.

Esta alta demanda del cultivo pudo traer como consecuencia que el K aplicado en solución nutriente fuera rápidamente absorbido por la planta y que los contenidos variaran entre la fertirrigación y la toma de la muestra, lo cual se encuentra en correspondencia con lo planteado por Guzmán (2006) quien establece como uno de los problemas en el control y monitoreo de los nutrientes en la solución del suelo o del sustrato, la rápida movilidad de algunos iones. Este autor clasifica al K^+ como un elemento de absorción rápida, conjuntamente con el NO_3^- , el NH_4^+ y el $H_2PO_4^-$, los cuales pueden ser removidos de la solución en pocas horas.

Independientemente de los resultados obtenidos, Casas (1999) y Lao *et al.* (2004) establecen, tanto para el cultivo de tomate en suelo como en sustrato, que los valores de K^+ en la solución del suelo pueden variar entre 50 y 100 % con relación a la solución fertilizante y su comportamiento depende de la alta demanda que de este nutriente ejercen los cultivos de alto rendimiento, de su rápida absorción, del balance que existe entre los procesos vegetativos y generativos y de las propiedades físico-químicas del suelo.

La concentración de Ca^{++} en la solución del suelo fue siempre superior a la cuantificada en el gotero para las dos épocas de estudio. Sin embargo, teniendo en cuenta los altos contenidos de Ca^{++} intercambiable que presenta este suelo, podría esperarse una mayor concentración del elemento en la solución del suelo, pues según Yagodin (1982) de la composición de los cationes adsorbidos depende la composición de la solución del suelo. Si el suelo contiene una mayor proporción de Ca^{++} adsorbido, entonces al aplicar fertilizantes solubles se desplazará a la solución del suelo principalmente Ca^{++} .

Al parecer las altas absorciones de Ca que realiza el cultivo, segundo elemento que en mayor medida extrajo la planta, influyeron en que las variaciones cuantificadas entre la solución del

suelo y la solución fertilizante no fueran tan amplias como las indicadas por Lao *et al.* (2004), quienes establecen porcentajes de variación de 150 a 200 %, llegando a ser superiores en suelos con altos contenidos de Ca. Los porcentajes de variación del Ca^{++} correspondientes a la época de invierno tendieron a ser inferiores a los determinados en la época primavera-verano, lo cual pudo estar condicionado no sólo por indicadores superiores de crecimiento y producción en el invierno, sino también por las variables de clima que caracterizaron cada época de estudio.

En las fases III y IV de la época primavera-verano se presentaron temperaturas superiores en el interior de la instalación con relación a la época de invierno y sobre este aspecto, Lezcano (2004) plantea que en condiciones de alta temperatura y evapotranspiración, el crecimiento del fruto es muy intenso, sin embargo la movilidad del Ca^{++} en la planta es lenta, por lo que la cantidad de Ca^{++} que llega al fruto no es suficiente para cubrir la demanda nutricional en cultivares de alto rendimiento, con una tendencia a acumularse en la planta o en el suelo.

A esto se une que el Ca^{++} , al igual que el Mg^{++} , es absorbido por la planta a una velocidad menor que la del transporte a través del flujo de agua, por esta razón tienden a acumularse en la superficie de la raíz. Esta particularidad, unida a que la planta realiza una escasa absorción del elemento pudo incidir en que el Mg^{++} se acumulara también en la solución del suelo, con porcentajes entre 124,82–192,48 %. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Triana (2001) y Lao *et al.* (2004) quienes calcularon un incremento del Mg^{++} en torno a la raíz de hasta un 260 %.

Una de las cuestiones más importantes en el manejo de la solución nutriente es lograr un adecuado balance entre los cationes K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} . De esta forma Baca (1983) y Steiner (1984) elaboraron para tomate una composición estándar de la solución nutritiva que presenta

una relación $K^+ : Ca^{++} : Mg^{++}$ entre (40–70):(25–45):(5–16) (% del total en mmol/L), válida también para la solución del suelo.

Este aspecto se cumple para los valores de composición de la solución del suelo que se analizan en el presente acápite, lo que indica que el cultivo recibió, en ambas épocas, una solución nutritiva que le permitió a la planta disponer de una solución del suelo con un balance apropiado entre el K^+ , el Ca^{++} y el Mg^{++} , aún cuando en el suelo se presentaron, relaciones inadecuadas entre estos cationes. Lo anterior sugiere que la utilización de soluciones nutritivas equilibradas constituye un aspecto importante para mitigar las limitaciones que desde el punto de vista químico presentan los suelos en estudio.

Los valores cuantificados de pH, CE y concentración de aniones y cationes en la solución del suelo y los porcentajes de variación con relación a la solución fertilizante, pueden utilizarse como referencia para el manejo racional del fertirriego en el cultivo protegido del tomate en condiciones de suelo y clima (época) similares a las del presente estudio. Lo cual se sustenta en que las soluciones nutritivas donde se efectuaron los muestreos a partir de sondas de succión permitieron obtener, en la etapa de validación, los mejores resultados productivos, además de que posibilitó corroborar lo obtenido en la etapa experimental.

No obstante, el análisis de la solución del suelo no puede considerarse como único método de diagnóstico para predecir alteraciones nutricionales en el cultivo protegido del tomate, pues otros factores influyen en la acumulación de nutrientes en torno a la raíz, a este aspecto debe integrarse el monitoreo del clima, del suelo, del estado nutricional y sanitario de la plantación y de la calidad del agua de riego, así como el conocimiento de las características del cultivar utilizado, que unidos a un adecuado manejo agrotécnico posibilitará obtener los beneficios deseados.

Estudios de este tipo se realizaron en Cuba en la década del ochenta en condiciones de hidroponía, experiencias que pueden tomarse en cuenta para el manejo de la nutrición del tomate en casas de cultivo. Sin embargo, en la actualidad, en sólo un 50,60 % de las instalaciones se utilizan las sondas de succión para monitorear la solución del suelo, manejando únicamente la CE sin tener en cuenta la concentración de los iones presentes (Cuba MINAG, 2009).

Por tales motivos, desde el punto de vista científico se identifica como dificultad la insuficiente información sobre indicadores de referencia de concentración nutrimental en la solución del suelo que permitan elevar la eficiencia de la nutrición en casas de cultivo y caracterizar, de manera correcta, la solución en torno a la raíz, para las variadas condiciones de suelo y clima.

Desde el punto de vista organizativo es evidente la necesidad de fortalecer las capacidades analíticas existentes y garantizar el aseguramiento de los insumos que demanda la tecnología en cuanto a equipamiento para la medición “in situ” de indicadores nutricionales de suelo y planta.

4.7. Eficiencia económica de los resultados obtenidos.

En la *Tabla 19* se refleja el análisis económico derivado de los resultados productivos en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019 ante diferentes relaciones N:K y épocas de plantación. Se observa que el tomate es un cultivo altamente eficiente desde el punto de vista económico pues, independientemente de los factores en estudio, siempre existió un adecuado retorno del capital invertido, expresado como ganancias, rentabilidad y bajo costo por peso de producción (<1).

Este aspecto, unido a las altas producciones y calidad de las cosechas obtenidas, sobre todo en periodos adversos para la producción de tomate a campo abierto, reafirman al cultivo protegido

como una tecnología de avanzada, capaz de satisfacer las demandas de los diferentes destinos, sustituir importaciones y generar una valiosa fuente de ingresos para el país, a partir de las exportaciones y las ventas internas en divisa.

Tabla 19. Valoración económica de los resultados obtenidos durante la fase de validación.

Variables	Época primavera - verano		Época de invierno	
	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5
Rend. calidad extra (t/ha)	43,33	34,76	33,46	41,87
Rend. primera (t/ha)	16,61	22,06	25,42	33,38
Rend. calidad segunda (t/ha)	6,16	6,12	8,79	6,24
VP (CUC/ha)	344 574,40	31 6170,40	328 757,80	407 103,20
CF (CUC/ha)	2810,88	3634,69	3224,73	4134,78
CP (CUC/ha)	233 994,00	222 807,60	144 813,80	346 332,50
CF + CP (CUC/ha)	236 804,88	226 442,29	148 038,53	174 388,60
G (CUC/ha)	107 769,52	89 728,11	180 719,27	232 714,60
R	0,46	0,40	1,22	1,33
C/P	0,69	0,72	0,45	0,43
VIR (CUC/ha)	0,00	-28 404,00	0,00	78 345,40

Rend.: Rendimiento, VP: Valor de la producción, CAF: Costo del fertilizante, CP: Costo de producción de una hectárea para un ciclo de tomate. G: Ganancia, R: Rentabilidad, C/P: Costo por peso de producción y VIR: Valor del incremento del rendimiento.

Los beneficios económicos generados ayudarán a enfrentar el proceso inversionista actual, la adquisición de los insumos que demanda la tecnología, imprescindibles para consolidar y hacer viable económicamente el sistema de casas de cultivo, así como contribuir al financiamiento en la producción de alimentos en otras ramas de la agricultura.

Los resultados económicos que se presentan se sustentan, fundamentalmente, en los altos precios del tomate según la época de plantación, que hacen que el valor de la cosecha sea superior a los gastos que se incurren en su producción. Por otra parte, los precios aprobados por el Ministerio de Finanzas y Precios (Cuba MFP, 2008) para el tomate proveniente de casas de cultivo, son superiores en los meses de mayo a diciembre, período donde se enmarcan los experimentos realizados, por tales motivos en el análisis económico efectuado el precio de un kg de producto, en las diferentes categorías, fue igual en las dos épocas de plantación.

El análisis económico concebido permitió realizar una valoración integral de los resultados obtenidos desde el punto de vista productivo, pues aquellos tratamientos que presentaron el mejor comportamiento en cuanto a rendimiento y calidad, mostraron también indicadores de eficiencia económica superiores.

En la época primavera-verano, la relación N:K 1:2.0 generó los mayores valores de la producción y ganancias superiores al testigo de producción en 28 404,00 y 18 041,41 CUC/ha respectivamente. Se determinó además una mayor rentabilidad y un menor costo por peso de producción. El comportamiento de los indicadores económicos en la relación N:K 1:2.5 estuvo condicionado por una disminución en el rendimiento de calidad extra y por tanto en el valor de la producción, unido a un mayor costo de la fertilización.

En la relación N:K 1:2.0 se obtuvo una reducción en el costo de la fertilización de 823,81 CUC/ha. Este beneficio económico se debe a la utilización de menores dosis de nutrientes, principalmente de K_2O , CaO y MgO, las cuales fueron inferiores al testigo en un 19,11, 17,90 y 16,50 % respectivamente. Por tales motivos, la nueva propuesta de relación N:K para la época primavera-verano permite optimizar y elevar la eficiencia económica y ambiental de la fertilización mineral en el cultivo protegido del tomate, como eslabón fundamental dentro de un manejo integrado de la nutrición de las plantas.

El mayor valor de la producción, en los tratamientos estudiados durante la época de invierno, correspondió a la variante de producción, la relación N:K 1:2.5; similar comportamiento se obtuvo para la ganancia, la rentabilidad y el costo por peso de producción. Los indicadores económicos determinados, los cuales se sustentan en un aumento del rendimiento en las calidades extra y primera, justifican el incremento del costo de aplicación de los fertilizantes y la

utilización de la relación N:K 1:2.5 en la época de invierno para los programas de nutrición en el cultivo protegido del tomate.

Los resultados económicos, productivos y de calidad de los frutos obtenidos en el presente estudio avalan desde el punto de vista científico y técnico utilizar la relación N:K 1:2.0 como nueva propuesta en los programas de fertilización del tomate para la época primavera-verano, la cual permite elevar la eficiencia de la fertilización y disminuir los costos que se relacionan con esta actividad.

En cambio, resulta factible en la época de invierno continuar utilizando la relación N:K 1:2.5 en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate, según lo recomendado en el Instructivo Técnico vigente, sin necesidad de incrementar los aportes de fertilizantes para lograr resultados superiores en cuanto a productividad y calidad de los frutos.

Estos resultados adquieren especial importancia desde el punto de vista práctico, no sólo en la época primavera-verano, para la cual fue concebida la tecnología, sino también para la época de invierno, teniendo en cuenta los objetivos identificados en los programas priorizados del MINAG y en las nuevas inversiones de casas de cultivos que pretenden cubrir, con las producciones generadas, las necesidades de la industria turística, destinar un 25 % para el consumo nacional, así como un 50 % a la exportación de hortalizas frescas.

Para cumplir con los objetivos identificados en los programas priorizados del MINAG se necesita de estructuras de plantación que privilegien la producción de tomate durante todo el año, especialmente en las épocas vulnerables a riesgos meteorológicos como las de primavera-verano y las siembras tempranas de invierno, en esta última el cultivo del tomate a campo abierto puede

verse también afectado por las altas temperaturas, los días nublados y las intensas lluvias lo que pone en peligro el cumplimiento de las metas identificadas.

Es necesario tener en cuenta además las cambiantes exigencias de los “standard” de calidad de los diferentes consumidores y su preocupación por una producción segura, saludable y ambientalmente sostenida. Por tales motivos, se impone la necesidad de adoptar prácticas agrícolas que desde el punto de vista económico, social y medioambiental perfeccionen el sistema, con resultados positivos en el rendimiento, la calidad, la seguridad de los productos y la preservación de los recursos naturales.

4.8. Criterios para un manejo eficiente de la nutrición en el cultivo protegido del tomate en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.

Los resultados hasta aquí mostrados, sugieren aspectos imprescindibles para el manejo de la nutrición en el cultivo protegido del tomate, principalmente para la combinación agronómica de suelo y clima estudiada, los cuales deben ser resumidos.

Se observó una respuesta significativa del cultivo a las relaciones N:K estudiadas, aún cuando en el suelo se presentaron altos contenidos de K asimilable, las que influyeron en la acumulación de biomasa como variable de crecimiento, en los componentes del rendimiento y en la producción total y por calidades, así como en la calidad externa y la vida en anaquel de los frutos, con atributos similares de calidad bromatológica.

La respuesta del cultivo a los tratamientos estudiados dependió de la época de plantación. En primavera-verano, el mejor comportamiento en cuanto a los indicadores anteriormente mencionados se alcanzó con la relación N:K 1:2.0, la cual permitió, en condiciones de

validación, obtener un rendimiento de 66,06 t/ha con un 90,69 % de calidad extra + primera, similar al testigo de producción. Lo que indica que la relación N:K 1:2,0 es suficiente para lograr una adecuada formación del rendimiento y calidad de los frutos en primavera-verano.

En cambio, en la época de invierno la mejor combinación entre las variables evaluadas se logró con la relación N:K 1:2.5, variante utilizada actualmente en los programas de fertirriego en el cultivo protegido del tomate. El rendimiento total y de calidad extra + primera en esta relación, fue superior a la recomendada para la época primavera-verano, en un 20,42 % y 27,78 % respectivamente, resultados que avalan su utilización en la época de invierno.

Las relaciones N:K de mejor comportamiento por época de plantación fueron altamente eficientes desde el punto de vista económico, lo cual se reflejó en los indicadores: valor de la producción, ganancias, rentabilidad y costo por peso de producción. En el caso de la época primavera-verano se calculó una reducción en el costo de la fertilización de 823,81 CUC/ha, debido a la utilización de menores dosis de nutrientes, principalmente de K_2O , CaO y MgO, las cuales fueron inferiores al testigo en un 19,11, 17,90 y 16,50 % respectivamente.

El análisis foliar reflejó una relación positiva y significativa entre el rendimiento y los contenidos de N, K y la relación N:K foliar, cuantificados entre el cuaje del tercer racimo y el período de plena producción. Los rangos críticos foliares de N, K y la relación N: K estimados a partir de la metodología del Rango Crítico de Nutriente, oscilaron respectivamente, entre 2,56–4,71 %, 3,34–4,96 % y 0,76–0,99 en la época primavera-verano y entre 3,22–5,20 %, 3,69–4,35 % y 0,81–1,19 en la época de invierno.

Se caracterizó en condiciones de validación, las variaciones que ocurren en la solución del suelo a lo largo del ciclo del cultivo en cuanto a pH, CE y concentración NO_3^- , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} (mmol/L) en aquellas soluciones nutritivas con resultados productivos y económicos superiores según la época de plantación. La concentración de nutrientes en la solución del suelo varió en dependencia de la época de plantación, la fase del cultivo y las características de los elementos.

La alta movilidad del NO_3^- y del K^+ y la presencia de indicadores productivos y de crecimiento superiores en la época de invierno, entre otros factores, pueden condicionar su disminución en la solución del suelo en los períodos de máxima absorción. En cambio, el Ca^{++} y el Mg^{++} son absorbidos por la planta a una velocidad menor que la del transporte a través del flujo de agua, por esta razón tienden a acumularse en la superficie de la raíz.

Los valores cuantificados, pueden utilizarse como referencia para el manejo racional del fertirriego en el cultivo protegido del tomate en condiciones de suelo y clima similares a las del presente estudio. Mientras que en investigaciones futuras es evidente la necesidad de profundizar en estudios que permitan la identificación de indicadores de concentración nutrimental en la solución del suelo y así respaldar los programas actuales de fertilización.

Se evidenció la importancia de utilizar, en el fertirriego, soluciones nutritivas equilibradas en su relación $\text{K}^+/\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$. Esta afirmación se sustenta en que el incremento de la concentración de K^+ no ejerció un efecto negativo en los porcentajes de Ca^{++} y Mg^{++} en hojas indicadoras, mientras que la solución del suelo, en contacto con las raíces, mostró un balance apropiado entre el K^+ , el Ca^{++} y el Mg^{++} , aún cuando en el suelo se presentaron, relaciones inadecuadas entre estos cationes.

5. CONCLUSIONES.

Luego del análisis de los resultados alcanzados, se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. La utilización de soluciones nutritivas equilibradas y de una adecuada relación N:K en el fertirriego del tomate para las condiciones de suelo Ferralítico Rojo, constituye un aspecto de manejo nutricional que permite incrementar, en dependencia de la época de plantación, los indicadores de crecimiento, producción, calidad y vida en anaquel de los frutos, aún cuando el suelo presente altos contenidos de K asimilable.
2. La relación N:K 1:2,0 es suficiente para obtener una adecuada formación del rendimiento y calidad de los frutos en la época primavera-verano, con un incremento de la eficiencia de la fertilización a partir de la disminución de las dosis de nutrientes y la minimización de los costos que se relacionan con esta práctica agrícola.
3. Teniendo en cuenta indicadores productivos, de calidad de los frutos y económicos superiores, se justifica para la época de invierno, utilizar la relación N:K 1:2.5 en la solución nutritiva del fertirriego en el cultivo protegido del tomate de acuerdo con las normas vigentes.
4. El rendimiento y los contenidos foliares de N, K y la relación N:K, muestran una relación positiva, mientras que los rangos críticos de nutrientes varían según la época de plantación y la fase del cultivo. Estos indicadores de diagnóstico foliar permiten realizar ajustes a la fertilización nitrogenada y potásica en el cultivo protegido del tomate.
5. La utilización soluciones nutritivas con un equilibrio apropiado entre los cationes K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} constituye un aspecto de manejo nutrimental imprescindible para mantener los

contenidos foliares de estos cationes en los niveles normales y mitigar las limitaciones que desde el punto de vista químico presentan los suelos Ferralíticos Rojos, caracterizados por una inadecuada relación $K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$.

6. La concentración de nutrientes en la solución del suelo varía en dependencia de la época de plantación, la fase del cultivo y las características de los elementos.
7. La alta movilidad del NO_3^- y del K^+ y la presencia de indicadores productivos y de crecimiento superiores en la época de invierno, así como en las fases de llenado del fruto y de cosecha pueden condicionar su disminución en la solución del suelo, mientras que el Ca^{++} y el Mg^{++} se acumulan siempre en el bulbo húmedo.

6. RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados en el presente trabajo se recomienda:

1. Utilizar en el cultivo protegido del tomate, soluciones nutritivas equilibradas durante el fertirriego con una relación N:K de 1:2.0 para la época primavera-verano y mantener, en la época de invierno, una relación N:K de 1:2.5 según lo recomendado en el instructivo Técnico vigente.
2. Emplear los rangos críticos foliares de N, K y la relación N:K definidos, como indicadores para el diagnóstico foliar y el monitoreo del fertirriego en el cultivo protegido del tomate para cada fase de crecimiento y época de plantación.
3. Utilizar los valores de concentración nutrimental en la solución del suelo, como referencia para la programación racional del fertirriego en el cultivo protegido del tomate en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.
4. Profundizar en estudios que definan concentraciones y relaciones internutrientes a utilizar en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate en diferentes fases de crecimiento, épocas de plantación, tipo de suelo y cultivares de tomate. Así como en el establecimiento de indicadores de referencia de concentración nutrimental en la solución del suelo.
5. Utilizar los resultados generados en la presente investigación en la docencia de pre y postgrado, incorporar el documento al fondo bibliotecario de las diferentes instituciones de investigación agropecuaria, bibliotecas especializadas y divulgar los resultados obtenidos en el sistema nacional de cultivo protegido.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Abab, M., P. Noguera, C. Carrión. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. **En:** Cadahía, C. *Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ra. Ed., Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 2005. p.301–354.
2. Abdalla, J. /et al./. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, 2002, 20(1):90–94.
3. Acuña, A. La construcción de invernaderos o casas de cultivo. **En:** López-Gálvez, J., J. R. Díaz y F. R. Zapata. *Situación, fundamentos y técnicas de agroplasticultura en América*. 1ra. Ed., Madrid:CYTED, 2003. p.125–157.
4. Adams, P., M. Grimmet. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in the recirculation nutrient solution. **Acta Horticulturae**, 1986, 366:405–416.
5. Alarcón, A. L. Cultivos de alto rendimiento. 1ra. Ed., España: CIFA, 2000. 256p.
6. Alarcón, A. L. Manejo de la disolución nutritiva y diagnóstico en cultivos sin suelo. **Vida rural**, 2002, 148:48–50.
7. Alfonso, C. A. /et al./. Variabilidad espacial de la fertilidad de un suelo Ferralítico Rojo sometido a explotación intensiva bajo cultivos protegidos. **En:** XV Congreso Científico del INCA (15:2006, nov 9–10, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006. ISBN 959–7023–36–9.
8. Alfonso, C. A. Diagnóstico, monitoreo y alternativas para el manejo de la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos para la producción sostenible de cultivos protegidos. Informe final de proyecto. La Habana: Instituto de suelos, 2006. 80p.

9. Alfonso, C. A. /et al./. Estudio integral de los suelos del Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”. La Habana: Instituto de suelos, 2007. 50p.
10. Alonso, D. /et al./. Control de la nutrición mineral mediante el estudio de la solución de suelo y de la dinámica foliar. [en línea] España: AGQ. 2006. Disponible en <http://www.AGQ.com/> [Consulta: Julio 14 2008].
11. Álvarez, M. /et al./. Veranero para el cultivo de plantas en clima tropical. [en línea] Cuba: Cubaenergía. 2002 Disponible en <http://www.energia.inf.cu/forum/trabajos2002/> [Consulta: marzo 20 2009].
12. Andriolo, J. L., L. L. Falcao. Efeito da poda de folhas sobre a acumulacao de materia seca e sua reparticao para os frutos do tomateiro cultivado en ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorología**, 2003, 8:75–83.
13. Araujo, C. /et al./. Critérios para a determinação da dose de nitrogenio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, 2007, 25(3): 327–332.
14. Armenta, A. /et al./. Martínez. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental del tomate. **Revista Chapingo**, 2001, 7(1):61–75.
15. Arozarena, N. J. Criterios para un manejo sostenible de la nutrición vegetal en la agrotecnología zeopónica. Tesis (Doctor en Ciencias Agrícolas). La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 1999. 73p.

16. Arozarena, N. J. /et al./. Acerca del uso de zeolitas naturales cubanas como sustrato en la agrotecnología de cultivo protegido. **En:** XIV Congreso Científico del INCA (14:2004, noviembre 9–12, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004a. ISBN 959–7023–27–X
17. Arozarena, N. J. /et al./. Contribución a la sostenibilidad de la agrotecnología del cultivo protegido: Una reflexión posible. **En:** III Forum Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004b.
18. Arpaza, M. L. /et al./. Las prácticas culturales influyen sobre la calidad de la fruta en post cosecha. California: Department of Botany and Plant Sciences, University of California, 2004. 10p.
19. Avendaño, J. C. Invernaderos tropicales o casas de cultivos protegidos. **En:** I Jornadas iberoamericanas de plasticultura (1:2005, mayo 13–16, Santa Cruz de la Sierra). Memorias. CD–ROM. Agencia Española de Cooperación Internacional, 2005. 26p.
20. Azcón, J., M. Talón. Fundamentos de fisiología vegetal. 2da. Ed., Barcelona, España: Ediciones Universidad de Barcelona, 2008. 656p.
21. Baca, C. G. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de riego, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis (Doctor en Ciencias Agrícolas). México: Colegio de Postgraduados de Chapingo, 1983. 96p.
22. Balken, A. V. Efecto toxicológico de los fertilizantes. **Fertilizar**, 2003, 8:32–33.

23. Bar Am, Y. Growing instruction for indeterminate tomato varieties: Graziella, Shirley and Amanda in open field in Mexico. [en línea] Israel: Zeraim Gedera. 2002. Disponible en <http://www.zeraimgedera.com> [Consulta: agosto 30 2002].
24. Barak, E., S. García, M. Pulido. El riego continuo, desarrollo de última tecnología para aumentar la productividad agrícola. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.407–420.
25. Barry, C. Hidroponía: soluciones nutritivas. **GROMAG**, 1997, 2(1):12–16.
26. Bar–Yosef, B. /et al./. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertilization in the Besor area. Report of project. Israel: Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, 1992. 32p.
27. Battilani, A. Manipulating quality of horticultural crops with fertigation. **Acta Horticulturae**, 2008, 792:47–59.
28. Beaufills, E. R. Physiological diagnosis a guide for improving maize productions based and principal development for rubber trees. **Fertilizer Society of South Africa Journal**, 1971, 1(1):1–31.
29. Benet, F. M. Situación actual de la Producción Integrada en España. **Vida Rural**, 2002. (147):27-34.
30. Bennett, F. W. Nutrient, deficiencies and toxicities in crop plants. USA: American Phytopatological Society, 1996. 202p.

31. Blanco, L. F., V. Folegatti. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: II. Crescimento e partição de matéria seca. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2008, 12(1):12–26.
32. Bombelli, C. E., E. R. Wright. Efecto del bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre *Botrytis cinerea* en postcosecha. **Revista Latinoamericana de ciencias de la agricultura y ambientales**, 2006, 33(3):177–270.
33. Brasiliano, C. A. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. **Scientia Agricola**, 2006, 63(2):146–152.
34. Bruulsema, T. W. Ciencia detrás de las recomendaciones de fertilización. **Informaciones Agronómicas**, 2006, 62:1–4.
35. Bugarin, R. /et al./. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. **Terra**, 2002, 20:401–409.
36. Cabrera, A., J. Arzuaga, M. Mojena. Desbalance nutrimental del suelo y efecto sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de casas de cultivo. **Cultivos Tropicales**, 2008, 28(3):91–97.
37. Cadahía, C., E. Eymar, I. Martín. Ventajas agronómicas, económicas y ecológicas de la fertirrigación. **Vida Rural**, 2002, 142(2):31–34.
38. Cadahía, C., E. Eymar. Cálculo y preparación de disoluciones fertilizantes. **En:** Cadahía, C. *Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ra. Ed., España: Ediciones Mundi Prensa, 2005. p.135–182.
39. Cadahía, C. *Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ra. Ed., España: Ediciones Mundi Prensa, 2005. 475p.

40. Camozzi, M. E. Importancia y manejo del fósforo en cultivos hortícolas. Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español. [en línea] Argentina: INTA. 2005. Disponible en <http://www.fertilizando.com> [Consulta: septiembre 12 2005].
41. Campbell, C. R. Reference sufficiency ranges vegetable crops. Tomato, greenhouse. [en línea] USA: Agronomic Division of the N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. 2000. Disponible en <http://www.ncagr.com/AGRONOMI/> [Consulta: noviembre 11 2006].
42. Cano, D., J. Rojo. Correlación de medidas obtenidas a partir de sondas de succión y extracto de saturación del suelo regado con aguas salinas. **Ingeniería del agua**, 2004, 11(3):329–338.
43. Cardoza, Hortencia, A. Nuñez, Marisa Chailloux. Extracción de nutrientes en el cultivo del (Campbell 28). La Habana: Estación experimental de suelos “La Renee”, 1985. 36p.
44. Cardoza, Hortencia. Estudio de la cadena productiva del tomate para consumo fresco. Informe de etapa: Definición de los límites (frontera de la cadena productiva). Caracterización general de la Cadena Productiva. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2007. 52p.
45. Carmelo, A., P. Gómez. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. **Horticultura Brasileira**, 2004, 22(3): 534–537.
46. Carpena, O., R. Carpena. Balance Nutriente Evolutivo. Aplicaciones. **Anales de Edafología y Agrobiología**, 1982, 41(7–8):1355–1371.
47. Casanova, A. /et al./. Manual para la producción protegida de hortalizas. 1ra. Ed., La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2003. 125p.

48. Casanova, A. /et al./. Situación de la producción protegida de plántulas en cepellones en cuba: Una mirada al futuro. **En:** IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (4:2002, octubre 21–25, Varadero). Memorias. CD–ROM. CIDAPA, 2002. 13p.
49. Casanova, A. Invernaderos: La experiencia cubana. **Revista anual del Proyecto XIX.2 (Subprograma de Agroplasticultura, CYTED)**, 2004, 3(1):26–32.
50. Casanova, A. /et al./. Diez años de cultivo protegido de hortalizas en Cuba. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2005. 12p.
51. Casanova, A. /et al./. Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da Ed., La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2007. 138p.
52. Casas, A. Solución nutritiva, principios básicos, comportamiento e interacción. **En:** Fernández M., I. M. Cuadrado. *Cultivos sin Suelos II*. 2da. Ed., España: FIAPA, 1999. p.229–247.
53. Castell, S. Plant tissue sampling in greenhouse vegetables. [en línea] USA: Agronomic Division of the N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. 2008. Disponible en <http://www.ncagr.com/AGRONOMI/> [Consulta: noviembre 11 2008].
54. Castilla, N. Invernaderos de plástico. Tecnologías y manejo. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 2005. 460p.
55. Castilla, N., T. Montalvo. Programación del riego. **En:** Cadahía, C. *Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ra. Ed., España: Ediciones Mundi Prensa, 2005. p.279–298.

56. Castillo, J., S. Álvarez. Fertilización foliar en tomate de casas de cultivo protegidas. **En:** III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
57. Cawich, F. Evaluación del bioestimulante Liplant en el cultivo protegido del tomate. Tesis (Ingeniero agrónomo). La Habana: Universidad Agraria de la Habana, 2008. 76p.
58. Cedeño, B. /et al./. Relaciones nitrógeno/potasio para el fertirriego en el cultivo del tomate. **En:** IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (4:2002, octubre 21–25, Varadero). Memorias. CD–ROM. CIDAPA, 2002. 6p.
59. Cezar, P. Pudricao apical do tomate, queima dos bordes das folhas de alface e depressao amarga dos fruto en maca: deficiencia de calcio. **Horticultura Brasileira**, 2003, 21(2):65–85.
60. Chailloux, Marisa. Nutrición y fertilización nitrogenada del pimiento en las condiciones de los suelos Ferralíticos Rojos. Tesis (Doctor en Ciencias Agrícolas). La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 1990. 129p.
61. Chailloux, Marisa. /et al./. Actualidad y perspectivas de la nutrición de cultivos hortícolas producidos bajo condiciones protegidas. **En:** IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (4:2002, octubre 21–25, Varadero). Memorias. CD–ROM. CIDAPA, 2002. 12p.

62. Chailloux, Marisa. Nutrición de hortalizas bajo cultivo protegido. Informe final de proyecto. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2003. 26p.
63. Chailloux, Marisa. /et al./. Nutrición, fertilización y fertirriego de los cultivos hortícolas en condiciones tropicales. En: II Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (2:2004, octubre 11–16, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004. 53p.
64. Chinnusamy, V., A. Jagendorf, Z. Jian-Kang. Understanding and improving salt tolerance in plants. **Crop Science**, 2005, 45(1):437–448.
65. Clementino, M. /et al./. Acao de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melao. **Horticultura Brasileira**, 2003, 21(4):615–619.
66. Cochran, W., G. M. Cox. Diseños experimentales. México: Editorial Trillas, 1999. 661p.
67. Colombo, M. H., V. Obregón. Horticultura General: Consideraciones de cultivo y manejo. Publicación Técnica N° 25. Argentina: INTA–Estación Experimental Agropecuaria bella Vista, 2008. 85p.
68. Cuba, IIHLD. Memorias 25 Aniversario. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 1997. 98p.
69. Cuba, IIHLD. Determinación de la textura: PNO 08C.006. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2001a. 2p.
70. Cuba, IIHLD. Lavado y desinfección de frutos y envases: PNO 08C.004. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2001b. 2p.

71. Cuba, IIHLD. Determinación de pérdida de peso: PNO 08C.001. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2001c. 2p.
72. Cuba, MFP. Evaluación de beneficios financieros referidos a las casas de cultivos. Ciudad de la Habana: MFP, 2008. 2p.
73. Cuba, MINAG. NRAG 837–87. Análisis químico de suelos. Reglas generales. Ciudad de la Habana:MINAG, 1987. 16p.
74. Cuba, MINAG. Especificaciones de calidad para la compra–venta de productos agrícolas con destino a su comercialización para el consumo. Cuba: MINAG, 2001. 47p.
75. Cuba, MINAG. Relatoría reunión nacional de cultivo protegido. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2003. 6p.
76. Cuba, MINAG. Estrategia de cultivos varios para el 2015. Ciudad de la Habana: MINAG, 2005. 204p.
77. Cuba, MINAG. Informe de las exportaciones de productos agrícolas cubanos. Ciudad de la Habana: MINAG, 2008a. 2p.
78. Cuba, MINAG. Ficha para precios y su componente en pesos convertibles para las hortalizas en casas de cultivo. Ciudad de la Habana: MINAG, 2008b. 7p.
79. Cuba, MINAG. Informe de recorrido del Grupo Nacional de Cultivo Protegido. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2009. 46p.
80. Cuba, MINBAS. Listado oficial de precios de productos fertilizantes. Ciudad de la Habana:MINBAS, 2008. 4p.
81. Cuba, MINTUR. Demanda de productos alimenticios de las diferentes cadenas turísticas de Cuba. Ciudad de la Habana: MINTUR, 2008.

82. Cuba, ONE. Panorama económico y social de Cuba. Ciudad de la Habana: ONE, 2008. 25p.
83. Darrigues, A. /et al./. Increasing the carotene content of tomato by managing variety choice and soil fertility for colour and colour uniformity. **Acta Horticulturae**, 2007, 744:323–328.
84. De Grasia, J. /et al./. Precocidad y rendimiento en zapatillo redondo de tronco (***Cucurbita maxima*** var. Zapallito) en función de la relación N: K. **Agricultura Técnica de Chile**, 2003, 63(4):428–435.
85. Del Amor, F. M., L. F. Marcelis. Regulación de la absorción del calcio en el cultivo hidropónico del tomate en invernadero. **Agrícola Vergel**, 2006, 291:142–148.
86. Demiral, M. A., A. Turgut. Effect of potassium on yield and chemical composition of greenhouse-grown galia melon. **Journal of plant nutrition**, 2005, 28(1):93–100.
87. Dibb, W., T. Roberts, R. M. Welch. De la cantidad a la calidad. La importancia de los fertilizantes minerales en la alimentación humana. **Informaciones Agronómicas**, 2005, 28:1–8.
88. Dobermann, A. /et al./. Balancing short-term and long-term goals nutrient management. **Better Crops**, 2005, 89(4):16–18.
89. Dogliotti, S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de Tomate (***Lycopersicon esculentum*** Mill). Material de apoyo al Módulo Hortícola [en línea] Uruguay: Universidad de la República/Facultad de Agronomía. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy>. [Consulta: noviembre 26 2007].

90. Dow, I., S. Roberts. Critical nutrient ranges for petiole phosphorous levels of sprinkler-irrigated Russet Burbank potatoes. **Agronomy Journal**, 1982, 74(3):583–585.
91. Driessen, P. /et al./. Lecture Notes on the Major Soils of the World. World Soil Resources Reports 94. Roma: FAO, 2001. 334p.
92. Dumas, Y. Influence of phosphorus fertilization and availability on growing and production of sown tomatoes. **Acta Horticulturae**, 2000, 220:245–252.
93. Duque, H., M. Mestre. Óptimos biológico y económico de la respuesta del café a la fertilización, en dos localidades de Colombia. **Cenicafé**, 2001, 52(1):74-89.
94. Elia, A. /et al./. Organic fertilization on soil water content, yield and quality of processing tomato. **Acta Horticulturae**, 2007, 758:639–644.
95. Estañ, M. T. /et al./. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of Na and Cl to the shoot. **Journal of experimental botany**, 2005, 56(412):703–712.
96. Fanasca, S. /et al./. The influence of K : Ca : Mg : Na ratio and total concentration on yield and fruit quality of soilless-grown tomatoes: a modelling approach. **Acta Horticulturae**, 2005, 697:345–350.
97. FAO. Los niveles de producción agrícola y los fertilizantes. Roma:FAO, 1984. 66 p.
98. Feltrin, D. M. /et al./. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de tomateiro fertirrigado com cloreto e sulfato de potássio. **Revista de Ciencias Agroveterinarias**, 2005, 4(1): 17–24.
99. Fernández, M., I. M. Gómez. Cultivos sin Suelos II. 2da. Ed., Almería, España: FIAPA, 1999. 589p.

100. Fernández, N. /et al./. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2004, 79(6):995–1001.
101. Flórez, V. J. /et al./. Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en roa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y sustrato. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.44–52.
102. Francis, D. M. Ultrastructural characterization of yellow shoulder disorder in a uniform ripening tomato genotype. **HortScience**, 2000, 35(6):1114–1116.
103. García-Roche, M. O., M. Grillo. Límites de residuos permisibles de nitratos en los productos vegetales de Cuba. **Revista CNIC Ciencias Biológicas**, 1991, 22(1–2):95–97.
104. Gent, M. P. /et al./. Yield of greenhouse tomato in response to supplemental nitrogen and potassium. **Acta Horticulturae**, 2002, 633:641–648.
105. Ghebbi, K., M. Bellal, F. Halladj. Effect of potassium supply on the behaviour of two processing tomato cultivars and on the changes of fruit technological characteristics. **Acta Horticulturae**, 2007, 758:269–274.
106. Giovannoni, J. J. Genetic regulation of fruit development and ripening. **Plant and Cell**, 2004, 16(2):170–180.
107. Goldy, R., Virginia Wendzel, W. Darryl. Fertilization of fresh market tomatoes produced under high tunnels. [en línea] USA:Southwest Michigan Research and Extension Center. 2006. Disponible en <http://www.maes.msu.edu/> [Consulta: diciembre 4 2007].

108. Gómez, Olimpia. */et al./*. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. 1ra. Ed., La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2000. 159p.
109. Gómez, Olimpia, Gisela, Rodríguez. Impacto del cultivar en los sistemas de cultivo protegido. **En:** II Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (2:2004, octubre 11–16, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004. 23p.
110. González, Farah María */et al./*. El injerto herbáceo: alternativa para el manejo de plagas del suelo. **Protección Vegetal**, 2008, 23(2):69-74.
111. González, María del Carmen. INCA 9–1, nueva variedad de tomate para diferentes épocas de siembra. **Cultivos Tropicales**, 1997, 18(1):82.
112. González, Mariluz. */et al./*. Estudios de nutrición y mejoramiento del suelo bajo régimen de cultivo protegido. **En:** III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
113. González, Mariluz. */et al./*. Introducción de alternativas bioorgánicas para la producción de hortalizas en sistemas de cultivos protegidos. **En:** XV Congreso Científico del INCA (15:2006, noviembre 9–10, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006. ISBN 959–7023–36–9.
114. González-Murillo, C. A. */et al./*. Modelación del agua en el suelo. **En:** Flórez, V. J. */et al./*. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.359–376.

115. Goykovic, V., G. Saavedra. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. **IDESIA**, 2007, 25(3):47–58.
116. Grubinger, V. /et al./. Tomato responses to starter fertilizer polyethylene mulch and levels of soil P. **Journal American Society of Horticultural Science**, 1993, 118(2):212–216.
117. Guardiola, J. L., L. García. Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte. 1ra. Ed., Madrid: Editorial Síntesis, 1990. p.201–294.
118. Guzmán, J. M. Reutilización y recirculación: eficiencia y calidad de los sistemas cerrados. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.479–499.
119. Hair, F. J. /et al./. Análisis multivariante. 5ta. Ed., Madrid: Prentice Hall Iberia, 1999. 813p.
120. Hartz, T. K. /et al./. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertirrigation. **HortScience**, 2005, 40(6):1862–1867.
121. He, F. /et al./. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in northern china. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2007, 77(1):1–14.
122. Hernández, A. /et al./. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: MINAG, 2000. 26p.

123. Hernández, A., M. O. Ascanio, Marisol Morales. Correlación de la nueva versión de Clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y Nacionales. **En:** VI Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del suelo (16:2006 marzo 8–10, La Habana). Memorias. CD–ROM. Sociedad Cubana de la Ciencia del suelo, 2006b. ISBN 959–7023–35–0.
124. Hernández, J. C. Cultivos protegidos de las hortalizas y su manejo climático. En: IV Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (4:2007, abril 11–26, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2007. 54p.
125. Hernández, J. C. Análisis de la política de precios y la factibilidad económica para una hectárea de cultivo protegido. Ciudad de la Habana: TROPIFLORA, 2008. 44p.
126. Hernández, María Isabel, Marisa Chailloux, Julia Mirtha Salgado. Efecto de la fertilización nitrogenada y la biofertilización en la calidad y conservación del tomate. **TEMAS de Ciencia y Tecnología**, 2002, 6(17):17–24.
127. Hernández, María Isabel. /et al./. Extracción y distribución de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate, Híbrido HA 3105 **En:** XIV Congreso Científico del INCA (14:2004, noviembre 9–12, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959–7023–27–X
128. Hernández, María Isabel. /et al./. Validación de fertilizantes de la línea ultrasol de SQM en el cultivo protegido del tomate. Su efecto en la calidad y en la conservación postcosecha. **Tecnología e Higiene de los alimentos**, 2005, 361(3):83–91.

129. Hernández, María Isabel, Marisa Chailloux, Anselma Ojeda. Cultivo Protegido, medio ambiente y sociedad. **TEMAS de Ciencia y Tecnología**, 2006a, 30(3):25–33.
130. Hernández, María Isabel. /et al./. Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA 3019. **Cultivos Tropicales**, 2008, 29(1):73–82.
131. Hu, Y., U. Schimdhalter. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 2005, 168(4):541–549.
132. Igarza, A. /et al./. Comportamiento de híbridos determinados de tomate al riego, la nutrición y la postcosecha en cultivo sin suelos. **En:** III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM.. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
133. Igarza, A., F. R. Pupo. Indicaciones prácticas para la fertirrigación en cultivo protegido. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2005. 21p.
134. Iglesias, N. Calidad en tomates para consumo en fresco: color y sabor. **Fruticultura y Diversificación**, 2008, 1:44–47.
135. Imas, Patricia. Quality aspects of K nutrition in horticultural crops [en línea] Israel: International Potash Institute. 2002. Disponible en <http://www.ipipotash.org/> [Consulta: octubre 22 2003].
136. Indowu, M. K., E. A. Aduayi. Effects of sodium and potassium application on water content and yield of tomato in south western Nigeria. **Journal of Plant Nutrition**, 2006, 29(12):2131–2145.

137. Jarquin–Enriquez, L., E. Mercado–Silva, E. Castaño–Tostado. Effect of two greenhouse covers on growth, dry matter content and tomato fruit quality. **Acta Horticulturae**, 2005, 697:481–486.
138. Jarvan, M., P. Poldma. Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime material used for neutralising bog peat. **Agronomy Research**, 2004, 2(1):39–48.
139. Jones, B., B. Wolf, H. Mills. Plant analysis handbook. USA: Micro–Macro Publishing Inc, 1991. 213p.
140. Justribo, X. ¿Porque es tan importante el calcio? [en línea] España: Sustainable Agro Solutions (SAS). 2006. Disponible en <http://www.greencareby-sas.com/> [Consulta: septiembre 23 2007].
141. Khosla, S., A. Papadopoulos. Influence of K:N ratio and EC on tomato plant raising. **Acta Horticulturae**, 2002, 548:149–156.
142. Kreij, C., L. Van, P. Haghuis. Production and quality of tomato as affected by radiation–regulated electrical conductivity of drip solution. **Acta Horticulturae**, 2005, 697:251–257.
143. Langlais, C. H. Guía de los cultivos protegidos de hortalizas en zona tropical húmeda. 1ra. Ed., Montpellier, Francia: CIRAD, 2002. 90p.
144. Lao, M. T. /et al./. Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Revista Internacional de Botánica Experimental**, 2004, 53:19–37.
145. Lenucci, M. S. /et al./. Carotenoids content in ripe raw and processed (sauce) berries of high pigment tomato hybrids. **Acta Horticulturae**, 2006, 758:173–180.

146. León, H. M. Guía para el cultivo del tomate en invernadero. 2da. Ed., México:SEP-INDAUTOR, 2006. 263p.
147. Lezcano, I. Las temperaturas altas y la deficiencia de calcio en tomate. [en línea] México: INPOFOS. 2004. Disponible en <http://www.inpofos.org/ppiweb/iamex.nsf/> [Consulta: septiembre 23 2007].
148. Lino, A. /et al./. Reducción del consumo de fertilizantes en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de cultivo protegido. **En:** XIV Congreso Científico del INCA (14:2004, noviembre 9–12, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959–7023–27–X
149. Lino, A. Cultivo Protegido: una alternativa para la nutrición de tomate y pepino en suelos Ferralíticos Rojos. Tesis (Master en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes). La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2005. 88p.
150. Locasio, L. /et al./. Fruit vegetables affected by nitrogen nutrition. **En:** Hauck, R. D. *Nitrogen in crop production*. 1ra. Ed., Madison:ASA–CSSA–SSSA, 1984. p.617–641.
151. López, A. Medidas para el desarrollo de la agricultura en Cuba. Ciudad de la Habana: MINAG, 2008. 52p.
152. López–Gálvez, J., A. Lozada. Bases para la programación y manejo de riegos localizados. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.300–326.
153. López–Gálvez, J., F. Zapata. Los materiales plásticos en el sector agropecuario. 1ra. Ed., Madrid: Edición Mundi–Prensa, 2000. 136p.

154. López-Gálvez, J., F. Zapata. Condiciones geoclimáticas y generales a considerar en el diseño de estructuras de protección de cultivos (1:2005, mayo 13–16, Santa Cruz de la Sierra). Memorias. CD–ROM. Agencia Española de Cooperación Internacional, 2005. 51p.
155. Lozada, A. El riego. Fundamentos de su hidrología y de su práctica. 1ra. Ed., Madrid: Edición Mundi–Prensa, 2005. 196p.
156. Lucena, J. J. Methods of diagnosis mineral nutrition of plant. A critical review. **Acta Horticulturae**, 1997, 448:179–192.
157. Luiz, J. Fisiología de los cultivos protegidos. 1ra. Ed., Brasil:Editora UFSM, 1999. 142p.
158. Luo, W. /et al./. Predicting leaf area of three greenhouse crops using PAR and temperature. **Acta Horticulturae**, 2006, 718:589–598.
159. Maestrey, Albina. /et al./. 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**, 1987, 10(2):7–16.
160. Malavolta, E. G., G. Vitti, S. De Oliveira. Availacao do estado nutricional das plantas. Principios e aplicacoes. 2da. Ed., Piracicaba, Brasil:Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 325p.
161. Mallarino, A. P. Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con maíz y soja en el cinturón del maíz. **Informaciones Agronómicas**, 2005, 28:9–15.
162. Maroto, J. V. Elementos de Horticultura general. 1ra. Ed., Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1998. 342p.

163. Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2da. Ed., San Diego, New York: Academic Press, 1995. 196p.
164. Méndez, O. Papel de los cultivos protegidos en la agricultura cubana. Actualidad y perspectivas hasta el 2015. Ciudad de la Habana: MINAG, 2008. 7p.
165. Mijailov, N. N., V. P. Kniper. Determinación de las necesidades de las plantas en fertilizantes. 1ra Ed., Moscú, 1971. 32p.
166. Mikkelsen, R. L. Tomato flavour and plant nutrition a brief review. **Better Crops with Plant Food**, 2005, 89(2):14–15.
167. Monedero, Milagros. /et al./. Evaluación de la salinidad en casas de cultivos establecidas sobre suelos Ferralíticos Rojos. **En:** III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
168. Morales, C. /et al./. Caracterización de cultivares foráneos de tomate durante dos años. **Cultivos Tropicales**, 1996, 17(1):54–59.
169. Morales, D. /et al./. Correlación entre la dosificación potásica, colocación, composición mineral y el rendimiento del melón (*Cucumis melo* L.). Municipio Mara, Estado de Zulia, Venezuela. **Revista Facultad de Agronomía de Zulia**, 2007, 25:54–63.
170. Moreno, V. Normas y procedimientos para el manejo del fertirriego. 2da. Ed., Ciudad de la Habana: Grupo Empresarial Frutícola, 2007. 40p.
171. Morgan, L. El calcio: su importancia en hidroponía [en línea] Perú: Universidad Agraria La Molina. 1992. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/> [Consulta: febrero 12 2004].

172. Mulholland, B. J. /et al./. Effect of VDP, K nutrition and root zone temperature on leaf area development, accumulation of Ca and K and yield in tomato. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2001, 76(5): 641–647.
173. Mulholland, B. J. /et al./. The effect of split-root salinity stress on tomato leaf expansion, fruit yield and quality. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2002, 77(4), 509–519.
174. Munns, R. Genes and salt tolerance: ringing them together. **New Phytologist**, 2005, 167(3):645–660.
175. Murcia, R. Manejo de la nutrición en suelo. **En:** Alarcón, A. *Cultivos de alto rendimiento*. 1ra. Ed., España: CIFA, 2000. p.45–62.
176. Murillo, C. A. /et al./. Modelación del movimiento del agua en el suelo. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.359–375.
177. Neudes, M. /et al./. Variacao diurna y sazonal do pH e composicao mineral da savia do xilema en tomateiro. **Horticultura Brasileira**, 2003, 21(1):10–14.
178. Nizamettin, A., Y. Sezen. Effect of N, P and K application on Zn uptake of tomato. Turquía: Agriculture Faculty and Turkey Soil Department, 2000. 16p.
179. Nouri, M. R., A. Shahnazari, B. Karamvand. Effects of irrigation strategy on growth and yield of greenhouse drip-irrigated tomatoes. **Acta Horticulturae**, 2007, 792:491–494.
180. Oviedo F. Los invernaderos y el medio ambiente. [en línea] España: Universidad de Almería. 2004. Disponible en <http://www.g12htm>. [Consulta: febrero 12 2004].

181. Paliyath, G. Effect of Phosphate Fertilization on the Levels of Functional Food Ingredients in Fruits and Vegetables. USA: International Plant Nutrition Institute, 2005. 36p.
182. Papaseit, P., J. Badiola, E. Armengol. Los Plásticos y la agricultura. España: Ediciones de Horticultura, 2000. 204p.
183. Parent, L. E., M. Poirier, M. Esselin. Multinutrient diagnosis of nitrogen status in plants. **Journal of Plant Nutrition**, 1995, 18(5):1013–1025.
184. Parra, R., V. J. Flórez, Reutilización de lixiviados en sistemas de producción de rosas en sustratos. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p. 463–479
185. Pérez, Denia. /et al./. Tecnología alternativa para la producción de hortalizas en casas de cultivo protegido. **En:** XIV Congreso Científico del INCA (14:2004, noviembre 9–12, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959–7023–27–X
186. Pérez, J., O. Cruz. Manejo agronómico aplicado en la conducción del híbrido de tomate HA 3019 bajo cultivo protegido: la experiencia de Ceiba. **En:** III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
187. Peris, M. E. /et al./. Estudio de las diferencias de costes de producción del cultivo de naranjo convencional, ecológico e integrado en la Comunidad Valenciana mediante el Análisis Factorial Discriminante. **Economía Agraria y Recursos Naturales**, 2005, 5(10):69-87.

188. Perkins, P.M., W. Roberts. Can potassium application affect the mineral and antioxidant content of horticulture crops?. **Fertilizing Crops for Functional Foods**, 2004, (2):1–5.
189. Prado, J. L. Tipos y especificaciones de calidad en el cultivo del tomate. **Vida Rural**, 2003, 148(9): 1016–1020.
190. Prado, Mónica. Conceptos básicos de Producción Integrada. [en línea] España: Fundación Vasca para la seguridad alimentaria. 2007. Disponible en <http://personales.jet.es/ACTAE.html>. [Consulta: Septiembre 12 2009].
191. Pupo, F. R. Caracterización de la nutrición del tomate en casas de cultivo para suelos Ferralíticos Rojos. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004. 29p.
192. Quesada, M. L. Cultivo Protegido y Plasticultura (perspectiva de investigación en México). **En:** II Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal (2:2007, septiembre 19–21, Guadalajara). Memorias. Universidad Autónoma de Guadalajara, 2007. 14p.
193. Ramos, C. /et al./. Eficiencia del uso del nitrógeno en tomate en fertirriego. **Terra**, 2002, 20:465–469.
194. Real, R. Problemas Fisiológicos y nutricionales en Cultivos protegidos. **En:** II Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (2:2004, octubre 11–16, La Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004. 69p.
195. Rincón, L., J. Sáez, E. Balsalobre. Extracción de macronutrientes en cultivo de tomate de crecimiento indeterminado. **Agrícola Vergel**, 1990, 112(1): 211–219.

196. Rodrigo, J., L. Cordero. Riego localizado. Programas informáticos para Windows. Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa, 2003. 157p.
197. Rodríguez, A. Hidroponía: soluciones nutritivas [en línea] Perú: Universidad Agraria La Molina. 2000. Disponible en <http://www.lamolina.edu/> [Consulta: enero 16 2005].
198. Rodríguez, Gisela. Comportamiento de cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) adaptados al sistema de cultivo protegido. Tesis (Master en Biología Vegetal). Ciudad de la Habana: Universidad de la Habana, Facultad de Biología, 2004. 106p.
199. Rodríguez, Gisela, Olimpia Gómez. Evaluación de híbridos F1 adaptados al sistema de cultivo protegido. **Temas de Ciencia y Tecnología**, 2005, 9(25):7–12.
200. Román, C. S. Libro Azul. Manual de fertirriego de SQM. 3ra. Ed., Chile: Soquimich Comercial SA, 2002. 231p.
201. Romo, M. Tendencias tecnológicas en la fertirrigación de cultivos de flores en Colombia. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.377–406.
202. Rosales, O. /et al./. Comportamiento del tomate bajo la tecnología de cultivo protegido sin suelo utilizando zeolita cubana. **En:** IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (4:2002, octubre 21–25, Varadero). Memorias. CD-ROM. CIDAPA, 2002. 13p.
203. Rottenberg, O. Manejo de la salinidad en la solución del sustrato en invernadero. México: Haifa Chemicals México, Centroamérica y el Caribe, 2006. 46p.

204. Ruisánchez, Y. /et al./. Efecto del Liplant en el cultivo del tomate, FA 180, en condiciones de casas de cultivo. **En:** Congreso Científico del INCA. 2008 (9:2008, nov 25–27, la Habana) Memorias. CD–ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008.
205. Ruíz, C. Efecto de la dosis y forma de colocación del potasio sobre la calidad física de frutos de tomate almacenados a dos temperaturas. **Revista Facultad de Agronomía de Zulia**, 2006, 23:475–488.
206. Ruíz, C., A. Sánchez, D. Tua. Efecto de la dosis de potasio y forma de colocación del potasio sobre la concentración foliar de macroelementos en el tomate. **Revista Facultad de Agronomía de Zulia**, 2006, 23:161–171.
207. Ruíz, C., T. Russián, D. Tua. Efecto del momento del riego y el nitrato de calcio en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). **Revista Facultad de Agronomía de Zulia**, 2008, 25: 421–439.
208. Sáez, P. M. La agricultura ecológica y la producción integrada en la Rioja. España, La Rioja: Instituto de Calidad Agroalimentaria de la Rioja, 2002. 6p.
209. Salgado, Julia Mirtha. /et al./. Empaque en la conservación poscosecha en híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Temas de Ciencia y Tecnología**, 2005, 9(25):17–29.
210. Salinas, A. Diseño de sistemas de protección de cultivos. **En:** López–Gálvez, J., J. R. Díaz y F. R. Zapata. *Situación, fundamentos y técnicas de agroplasticultura en América*. 1ra. Ed., Madrid:CYTED, 2003. p.79–125.

211. Samalvide, J., C. Moltini. Manejo de la fertilización con boro y potasio en tomate bajo invernáculo. [en línea] Uruguay: INIA Uruguay. 2006. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_454.pdf [Consulta: marzo 20 2006].
212. Sandoval-Villa, M., E. A. Guertal, C. W. Word. Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. **Agricultural and Biological Science and Food Science and Nutrition**, 2004, 24(11):1787:1798.
213. Scholberg, J. M. Adaptive use of crop growth models to simulate the growth of field-grown tomato. Gainesville, USA: University of Florida, 1996. 36p.
214. Scholberg, J. M. /et al./. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-growth tomato. **Agronomy Journal**, 2000, 92:159–167.
215. Schuelter, A. R. /et al./. Ripening and shelf-life of a firm tomato mutant, wild type and hybrids. **Acta Horticulturae**, 2005, 682:419–426.
216. Segura, María Luz, E. Medrano, E. Casado. Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada. **Horticultura**, 2000, (146):16–24.
217. Segura, María Luz, C. Cadahía, A. Massager. Fertirrigación de cultivos hortícolas. **En:** Cadahía, C. *Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ra. Ed., Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 2005. p.358–427.
218. Shany, M., S. Castellón. Manual agrotécnico para el cultivo hortícola intensivo en Nicaragua. Nicaragua: Centro de Cooperación Internacional de Israel/Universidad Estatal de Michigan/IICA Nicaragua, 2005. 49p.

219. Solórzano, L. Una aproximación a las relaciones nutricionales desde el enfoque de la estequiometría ecológica. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.179–190.
220. Steineck, O. The relation between potassium and nitrogen in the production of plant material. Alemania: IPI, 1974. 196p.
221. Steiner, A. A. The influence of the chemical composition of nutrient solutions on the production of tomato plant. **Plant and Soil**, 1966, 24(2):454–466.
222. Steiner, A. A. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture, 1984. p.633–649.
223. Stewart, W. M. /et al./. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**, 2005, 97(1):1–6.
224. Subbiah, K., R. Perumal. Effect of calcium sources concentration, stages and number of sprays on physiological properties of tomato fruit. **South Indian Horticulture**, 1990, 38(1):20–27
225. Subbiah, K. Studies on the effects of N, K and CaCl₂ on fruit cracking, skin thickness and density of tomato. **Madras Agricultural Journal**, 1994, 81(3):138–140.
226. Terabayashi, A. /et al./. Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato grown hidroponically. **Journal Japan Society Horticultural Science**, 2004, 73(4):324–329.
227. Torres, W. Desarrollo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) plantado en dos épocas del año. **Cultivos tropicales**, 1987, 9(3):67–73.

228. Triana, M. P. La importancia de los elementos secundarios (Ca, Mg y S) en la nutrición de las plantas. **En:** Silva–Mojica, F. *Los elementos secundarios (Ca, Mg y S) y el silicio en la agricultura*. 1ra. Ed., Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, 2001. p.1–13.
229. USA, SGC (Statistical Graphics Corporation). Statgraphics Plus for Windows: Version 5.0, 2000.
230. USA, SPSS. Sigmaplot for Windows: Version 8.02, 2002a
231. USA, SPSS. SPSS para Windows: Versión 11.5, 2002b.
232. USA, USSL. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. United State, Washington: DAW, 1954.166p.
233. Vidal, I. A., A. Venegas, E. Esparza. Efecto de la fertilización nítrica y amoniacal en parámetros productivos y de calidad en Frambueso fertirrigado. **En:** 56 Congreso Agronómico de Chile (56:2005, octubre 14–17, Chile). Memorias. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas–Chilán, 2005. 4p.
234. Vidal, I. Diseño de programas de fertirriego y su control. **En:** Flórez, V. J. /et al./. *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. 1ra. Ed., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Bogotá, 2006. p.327–357.
235. Villa, M. /et al./. Absorción y traslocación de Na y Cl en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas en estrés salino. **Revista Fitotecnia Mexicana**, 2006, 29(1):79–78.
236. Voogt, W. Evaluation of the fertigation model, a decision support system for water and nutrient supply for soil grown greenhouse crops. **Acta Horticulturae**, 2006, 718:531–538.
237. Yagodin, B., P. Sminov, A. Petersburski. Agroquímica. Moscú: Editorial MIR, 1985. 416p.

Anexo A1. Datos climáticos

Tabla A1.1. Valores promedios de las variables de clima por fases de crecimiento y experimentos efectuados, en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Época/ Experimentos	Fases	Temperatura (°C)						Humedad relativa (%)		Radiación solar (W/m²)		
		Máxima		Mínima		Media		I	E	I	E	
		I	E	I	E	I	E					
EPV	1	I	32,69	29,00	18,00	17,31	25,35	23,16	63,43	60,86	89,79	109,58
		II	32,93	31,13	19,00	17,47	25,97	24,30	69,44	65,56	108,16	123,13
		III	33,79	32,79	22,21	21,64	28,00	27,22	73,63	69,25	110,88	126,09
		IV	35,00	34,04	23,79	23,12	29,40	28,58	77,53	70,60	129,34	157,62
		V	36,23	34,20	25,77	25,44	31,00	29,82	78,00	69,33	160,23	199,82
	Promedio	34,12	32,23	21,75	20,99	27,94	26,61	72,46	67,12	119,68	143,25	
	2	I	33,27	31,80	20,69	20,85	26,98	26,33	67,86	65,29	108,63	133,19
		II	35,23	34,08	21,30	20,60	28,27	27,34	72,11	65,67	110,96	136,54
		III	35,36	33,86	24,57	23,57	29,97	28,72	77,33	69,00	117,90	144,36
		IV	36,38	34,96	24,42	24,04	30,40	29,50	70,27	64,20	171,18	186,63
		V	37,56	35,33	25,33	24,00	31,45	29,67	72,75	64,50	150,11	185,36
	Promedio	35,56	34,00	23,26	22,61	29,41	28,31	72,06	65,73	131,75	157,21	
	Validación	I	33,38	31,94	21,58	20,83	27,48	26,39	67,50	65,08	-	-
		II	35,17	34,08	19,75	18,69	27,46	26,39	72,75	66,44	-	-
		III	35,31	33,94	22,50	21,31	28,91	27,63	74,63	66,31	-	-
		IV	36,72	35,16	22,72	22,08	29,72	28,62	69,80	63,96	-	-
		V	37,57	35,71	24,14	22,43	30,86	29,07	68,29	62,14	-	-
	Promedio	35,63	34,16	22,13	21,06	28,88	27,62	70,59	64,78			
EI	1	I	37,13	35,33	23,60	23,00	30,37	29,17	66,78	62,44	106,73	160,48
		II	35,53	34,53	23,27	22,20	29,40	28,37	64,80	53,27	89,18	134,82
		III	35,06	33,50	21,81	20,81	28,44	27,16	68,56	59,56	66,44	105,28
		IV	32,31	29,62	19,41	18,38	25,86	24,00	66,69	61,00	59,60	95,66
		V	28,83	27,42	15,08	14,50	21,96	20,96	68,92	62,67	54,35	88,97
	Promedio	33,77	32,08	20,63	19,77	27,20	25,93	67,15	59,78	75,26	117,04	
	2	I	37,07	34,93	23,36	22,79	30,21	28,86	67,89	62,89	106,98	160,84
		II	36,36	34,86	22,29	21,43	29,32	28,14	66,13	57,50	91,18	138,53
		III	33,93	32,93	22,14	21,64	28,04	27,29	64,33	55,67	69,05	108,78
		IV	30,90	30,52	19,76	18,83	25,33	24,67	64,06	55,18	62,03	98,63
		V	29,33	29,83	15,50	15,00	22,42	22,42	67,83	61,83	54,10	88,66
	Promedio	33,51	32,61	20,61	19,93	27,06	26,27	66,04	58,61	76,668	119,08	
	Validación	I	36,06	33,94	23,25	22,69	29,66	28,31	61,50	58,56	-	-
		II	35,61	34,28	22,67	21,67	29,14	27,97	67,61	60,17	-	-
		III	34,20	33,13	21,67	20,93	27,93	27,03	62,93	52,60	-	-
		IV	31,17	30,43	19,77	19,07	25,47	24,75	65,13	56,57	-	-
		V	29,33	28,67	16,33	15,33	22,83	22,00	65,33	62,17	-	-
	Promedio	33,27	32,09	20,73	19,93	27,00	26,01	64,5	58,01			

EPV: Época primavera-verano, EI: Época de invierno

I: Interior de la instalación.

E: Exterior de la instalación

Anexo A2. Caracterización del humus de lombriz.

Tabla A2.1. Caracterización del humus de lombriz utilizado como sustrato para la producción de plántulas en cepellones.

Características	Unidad	Valor
CE	mS/cm	1,80
pH	-	6,80
MO (%)	%	50,55
P₂O₅	g/kg	8,10
K⁺	g/kg	1,00
Mg⁺⁺	g/kg	0,60
Ca⁺⁺	g/kg	3,40
N total	g/kg	11,70
Fe	mg/kg	705,70
Mn	mg/kg	772,00
Cu	mg/kg	24,48
Zn	mg/kg	94,50

Anexo A3. Plagas, enfermedades y control fitosanitario

Tabla A3.1. Relación de plagas y enfermedades por experimentos y medidas adoptadas para su control en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Plaga	2004 Experimento 1 EI	2005 Experimento 1 EPV	2006 Experimento 2 EPV	2007 Experimento 2 EI
<i>Meloidogyne spp</i>	-	1-3 dicloropropeno + cloropirina (51,14 + 29,50) dosis: 300 kg PC/ha 1 aplicación	Solarización: exposición 60 días Biofumigación: incorporación de restos de col	-
Hongos de suelo	<i>Trichoderma harzianum</i> (1 x 10 conidios/mL) dosis: 40 L/ha 2 aplicaciones	<i>Trichoderma harzianum</i> (1 x 10 conidios/mL) dosis: 40 L/ha 2 aplicaciones	<i>Trichoderma harzianum</i> (1 x 10 conidios/mL) dosis: 40 L/ha 2 aplicaciones	<i>Trichoderma harzianum</i> (1 x 10 conidios/mL) dosis: 40 L/ha 3 aplicaciones
Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> Genn	Imidacloprid 70 GD dosis: 100 g/kg de semilla 1 aplicación Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50-2,00 kg i.a./ha 2 aplicaciones	Imidacloprid 70 GD dosis: 100 g/kg de semilla 1 aplicación Imidacloprid 70 WS dosis: 0,35 kg i.a./ha 2 aplicaciones	Imidacloprid 70 GD dosis: 100 g/kg de semilla 1 aplicación Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50 – 2,00 kg i.a./ha 2 aplicaciones	Oleo Nim 80 dosis: 20 mL/L 2 aplicaciones
Minadores <i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess)	Ciromazina PH 75 dosis: 37,50 – 75,00 g.i.a/ha 1 aplicación Abamectin CE 1,80 dosis : 0,50 L PC/ha 1 aplicación	Ciromazina PH 75 dosis: 37,50– 75,00 g.i.a/ha 1 aplicación Abamectin CE 1,80 dosis: 0,50 L PC/ha 1 aplicación	Ciromazina PH 75 dosis: 37,50 – 75,00 g.i.a/ha 1 aplicación Abamectin CE 1,80 dosis: 0,50 L PC/ha 1 aplicación	Oleo Nim 80 dosis: 20 mL/L 2 aplicaciones
Minador gigante <i>Keiferia lycopersicella</i> Walsh.	<i>Bacillus turingiensis</i> cepa BT- 24 (1,10 esporas/mL) dosis: 5 L/ha, 3 aplicaciones	<i>Bacillus turingiensis</i> cepa BT- 24 (1,10 esporas/mL) dosis: 5 L/ha, 5 aplicaciones	<i>Bacillus turingiensis</i> cepa BT- 24 (1,10 esporas/mL) dosis: 5 L/ha, 8 aplicaciones	<i>Bacillus turingiensis</i> cepa BT- 24 (1,10 esporas/mL) dosis: 5 L/ha, 8 aplicaciones
Enfermedades foliares <i>Cladosporium fulvum</i> Cooke	Mancozeb PH 80 Dosis: 2,40 kg i.a./ha 1 aplicación Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50-2,00 kg i.a./ha 3 aplicaciones	Mancozeb PH 80 dosis: 2,40 kg i.a./ha 2 aplicaciones Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50-2,00 kg i.a./ha 3 aplicaciones	Mancozeb PH 80 dosis: 2,40 kg i.a./ha 2 aplicaciones Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50 - 2,00 kg i.a./ha 2 aplicaciones	Oxicloruro de cobre 50 PH dosis: 1,50 - 2,00 kg i.a./ha 2 aplicaciones

Anexo A4: Características químicas del agua de riego.

Tabla A4.1. Caracterización del agua de riego en dos momentos del ciclo del cultivo, durante la época primavera - verano.

Experimentos	Fases	Fecha de Muestreo	Aniones (mmol/L)			Cationes (mmol/L)				pH	CE (mS/cm)
			NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
1	I, II y III	15/03/2005	0,52	4,96	1,50	0,13	2,70	1,03	0,63	7,30	0,71
	IV y V	14/05/2005	0,34	5,00	1,32	0,46	2,34	0,96	0,43	7,01	0,69
2	I, II y III	12/03/2006	0,12	5,00	0,52	0,06	1,60	1,07	0,71	7,10	0,53
	IV y V	10/05/2006	0,49	5,03	1,20	0,92	2,38	0,95	0,80	7,30	0,78
Validación	I, II y III	17/3/2007	0,00	4,52	1,50	0,12	2,26	0,99	0,72	7,10	0,69
	IV y V	29/4/2007	0,00	4,69	1,20	0,09	2,16	0,63	0,65	7,20	0,69

Tabla A4.2. Caracterización del agua de riego en dos momentos del ciclo del cultivo, durante la época de invierno.

Experimentos	Fases	Fecha de Muestreo	Aniones (mmol/L)			Cationes (mmol/L)				pH	CE (mS/cm)
			NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
1	I, II y III	30/08/2004	0,15	4,41	1,50	0,08	2,70	0,57	0,63	7,05	0,72
	IV y V	03/11/2004	0,10	5,49	0,61	0,06	2,41	0,57	0,59	7,10	0,65
2	I, II y III	01/09/2006	0,04	4,30	0,84	0,16	2,60	0,59	0,52	7,06	0,64
	IV y V	15/11/2006	0,41	4,96	0,85	0,18	1,90	1,31	0,59	7,01	0,69
Validación	I, II y III	2/09/2007	0,00	5,03	0,68	0,15	2,32	0,79	0,68	7,20	0,70
	IV y V	8/11/2007	0,00	5,00	1,03	0,15	2,40	0,92	0,63	7,10	0,73

Anexo A5. Cantidad de fertilizantes aplicados por tratamientos y experimentos.

Tabla A5. 1. Fertilizantes aplicados (kg/ha o L/ha) a cada tratamiento, en los experimentos que se ejecutaron durante la etapa experimental.

Época	Experimentos	Fertilizantes	T1. 1:1.5	T2. 1:2.0	T3. 1:2.5	T4. 1:3.0
EPV	1	H ₃ PO ₄	186,11	186,11	186,11	186,11
		HNO ₃	653,72	653,72	653,72	653,72
		Ca(NO ₃) ₂	36,39	269,76	565,46	854,22
		MgSO ₄	0,00	41,28	146,06	257,78
		K ₂ SO ₄	768,12	1025,28	965,01	375,14
		KNO ₃	0,00	0,00	352,45	1200,50
		NH ₄ NO ₃	552,27	445,74	186,54	46,89
	2	H ₃ PO ₄	186,94	186,11	186,11	186,94
		HNO ₃	660,55	660,55	660,55	660,55
		Ca(NO ₃) ₂	104,81	389,82	685,53	974,28
		MgSO ₄	0,00	44,00	145,00	256,72
		K ₂ SO ₄	716,92	974,09	957,87	250,87
		KNO ₃	0,00	0,00	303,50	1261,15
		NH ₄ NO ₃	518,02	388,09	146,17	33,11
EI	1	H ₃ PO ₄	217,04	217,04	217,04	217,04
		HNO ₃	620,08	620,08	620,08	620,08
		Ca(NO ₃) ₂	154,27	513,32	885,04	1248,15
		MgSO ₄	184,21	329,23	472,45	612,94
		K ₂ SO ₄	1006,51	1176,83	1073,39	391,36
		KNO ₃	0	170,13	644,04	1622,53
		NH ₄ NO ₃	688,65	464,92	128,20	51,84
	2	H ₃ PO ₄	206,03	206,03	206,03	206,03
		HNO ₃	514,03	514,03	514,03	514,03
		Ca(NO ₃) ₂	293,78	640,51	990,26	1331,66
		MgSO ₄	39,23	79,15	205,47	337,56
		K ₂ SO ₄	893,56	1174,34	1092,42	262,52
		KNO ₃	40,62	69,98	498,55	1607,51
		NH ₄ NO ₃	613,94	435,12	124,42	52,08

EPV: Época primavera - verano

EI: Época de invierno

Tabla A5. 2. Fertilizantes aplicados (kg/ha o L/ha) a cada tratamiento, en los experimentos que se ejecutaron durante la etapa de validación.

Fertilizantes	Época primavera - verano		Época de invierno	
	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5
H ₃ PO ₄	191,39	191,39	208,32	208,32
HNO ₃	598,37	598,37	571,33	571,33
Ca(NO ₃) ₂	383,03	693,53	535,33	887,57
MgSO ₄	156,77	271,91	164,65	300,45
K ₂ SO ₄	1118,86	910,39	1032,64	934,86
KNO ₃	0,00	531,26	244,61	693,13
NH ₄ NO ₃	450,36	121,30	407,53	88,65

Anexo A6. Ficha de precios para un ciclo de tomate y sus componentes en CUC y MN utilizada para el cálculo económico.

Tabla A6.1. Ficha de costo para una hectárea de tomate en los meses de marzo a julio.

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA			
FICHA PARA PRECIOS Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA PROGRAMA DE CULTIVOS PROTEGIDOS Descripción del producto: tomate casa cultivo primavera		FICHA-COSTO AGRÍCOLA UM: ha Rendimiento esperado: 60 t/ha	
Concepto de gastos	Fila	Total unitario	De ellos: CUC
1	2	3	5
Materias primas y materiales	1	10 900,80	10 511,79
Materias primas y materiales fundamentales	1,1	10 292,54	9 898,02
Combustibles y lubricantes	1,2	550,00	550,00
Energía eléctrica	1,3	43,20	43,20
Agua	1,4	15,06	20,57
Sub total (gastos de elaboración)	2	202 305,02	17 682,73
Otros gastos directos	3	12 670,50	12 670,50
Depreciación	3,1	12 295,50	12 295,50
Arrendamiento de equipos	3,2		
Ropa y calzado (trabajadores directos)	3,3	375,00	375,00
Otros	3,4	225,00	225,00
Gastos de fuerza de trabajo	4	181 248,08	0,00
Salarios	4,1	135 716,16	
Vacaciones	4,2	12 336,60	
Impuesto por utilización de la fuerza de trabajo	4,3	12 467,94	
Contribución a la seguridad social	4,4	20 727,39	
Gastos indirectos de producción	5	5 321,54	3 516,23
Depreciación	5,1		
Mantenimiento y reparación	5,2	1 321,54	1 321,54
Seguro de estructura y producción	5,3	4 000,00	2 194,69
Gastos generales y de administración	6	2 017,76	1 496,00
Combustibles y lubricantes	6,1		
Energía eléctrica	6,2		
Depreciación	6,3		
Ropa y calzado (trabajadores indirectos)	6,4		
Alimentos	6,5	1 296,00	1 296,00
Otros gastos	6,6	721,76	200,00
Interés bancario (gastos bancarios)	8	1 047,14	
Costo de producción agrícola para 1 ha	9	214 252,96	28 194,52
Menos	10		
Ingresos por cobro de ropa y calzado	11	375,00	
Ingresos por cobros de alimentos	12	1 296,00	
COSTO POR HECTÁREA	13	212 581,96	28 194,52
COSTO POR kg	14	3,54	0,56

Tabla A6.2. Ficha de costo para una hectárea de tomate en los meses de septiembre a febrero.

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA FICHA PARA PRECIOS Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES			
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA PROGRAMA DE CULTIVOS PROTEGIDOS Descripción del producto: tomate casa cultivo invierno		FICHA-COSTO AGRÍCOLA UM: ha Rendimiento esperado: 100 t/ha	
Concepto de gastos 1	Fila 2	Total unitario 3	De ellos: CUC 5
Materias primas y materiales	1	13 630,26	13 235,74
Materias primas y materiales fundamentales	1,1	13 016,49	12 621,97
Combustibles y lubricantes	1,2	550,00	550,00
Energía eléctrica	1,3	43,20	43,20
Agua	1,4	20,57	20,57
Subtotal (gastos de elaboración)	2	201 257,88	17 682,73
Otros gastos directos	3	12 670,50	12 670,50
Depreciación	3,1	12 295,50	12 295,50
Arrendamiento de equipos	3,2		
Ropa y calzado (trabajadores directos)	3,3	375,00	375,00
Otros	3,4	225,00	225,00
Gastos de fuerza de trabajo	4	181 248,08	0,00
Salarios	4,1	135 716,16	
Vacaciones	4,2	12 336,60	
Impuesto por utilización de la fuerza de trabajo	4,3	12 467,94	
Contribución a la seguridad social	4,4	20 727,39	
Gastos indirectos de producción	5	5 321,54	3 516,23
Depreciación	5,1		
Mantenimiento y reparación	5,2	1 321,54	1 321,54
Seguro de estructura y producción	5,3	4 000,00	2 194,69
Gastos generales y de administración	6	2 017,76	1 496,00
Combustibles y lubricantes	6,1		
Energía eléctrica	6,2		
Depreciación	6,3		
Ropa y calzado (trabajadores indirectos)	6,4		
Alimentos	6,5	1 296,00	1 296,00
Otros gastos	6,6	721,76	200,00
Interés bancario (gastos bancarios)	8	1 047,14	
Costo de producción agrícola para 1 ha	9	215 935,28	30 918,46
Menos	10		
Ingresos por cobro de ropa y calzado	11	375,00	
Ingresos por cobros de alimentos	12	1 296,00	
COSTO POR HECTÁREA	13	214 264,28	30 918,46
COSTO POR kg	14	2,14	0,31

Anexo A7. Técnicas analíticas.

Tabla A7.1. Metodologías utilizadas para el análisis de suelo, agua, planta y frutos.

Característica analizada	Método/solución extractiva	Determinación
Suelo		
pH H ₂ O	Agua (relación suelo solución 1:5)	Potenciometría ¹
pH KCl	KCl (1 mol/L) (relación suelo solución 1:5)	Potenciometría ¹
MO (%)	Dicromato de potasio	Espectrofotocolorímetro (650 nm) ²
P ₂ O ₅ (mg/100g)	Oniani (H ₂ SO ₄ 0,10 N)	Espectrofotocolorímetro (620 nm) ³
K ₂ O (mg/100g)	Oniani	Fotometro de llama ³
Na ⁺ (cmol/kg)	Melich Modificado	Fotometro de llama ⁴
K ⁺ (cmol/kg)	Melich Modificado	Fotometro de llama ⁴
Ca ⁺⁺ (cmol/kg)	Melich Modificado	Por valoración ⁴
Mg ⁺⁺ (cmol/kg)	Melich Modificado	Fotometro de llama ⁴
Agua		
NH ₄ ⁺ (mmol/L)	Nessler	Colorimetría ⁵
Ca ⁺⁺ (mmol/L)	EDTA	Por valoración ⁵
K ⁺ (mmol/L)	-	Fotometro de llama ⁵
Mg ⁺⁺ (mmol/L)	EDTA	Por valoración ⁵
Na ⁺ (mmol/L)	-	Fotometro de llama ⁵
NO ₃ ⁻ (mmol/L)	Ácido Fenol disulfónico	Colorimetría ⁵
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	-	Por valoración ⁵
Cl ⁻ (mmol/L)	MOHR	Por valoración ⁵
CE (mS/cm)	-	Conductimetría ⁵
pH	-	Potenciometría ⁵
Planta y frutos		
N foliar y en frutos (%)	Nessler	Espectrofotocolorímetro (415 nm) ⁶
P foliar y en frutos (%)	Complejo vanadato molibdo fosfórico	Espectrofotocolorímetro (400 nm) ⁶
K foliar y en frutos (%)	Sulfúrico - selenio	Fotometro de llama ⁶
Ca foliar (%)	Incineración	Absorción atómica ⁶
Mg foliar (%)	Incineración	Absorción atómica ⁶
MS (%)	-	Diferencia de peso
pH	-	Potenciometría ⁷
SST (°Brix)	-	Refractometría ⁸
AT (%)	NAOH 0.1 N	Por valoración con fenolftaleína ⁹
Vitamina C (mg/kg)	Ácido clorhídrico 1% 2,60 diclorofenol endofenol	Volumetría ¹⁰
NO ₃ ⁻ (mg/100 g)	Rebolein y Stoga	Colorimetría ⁶

¹.Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC-ISO 10390:99: Calidad del suelo. Determinación de pH. Ciudad de la Habana: MINAG, 1999. 8p.

².Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC 51:99: Calidad del suelo. Determinación del porcentaje de materia orgánica. Ciudad de la Habana: MINAG, 1999. 8p.

³.Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC 52:99: Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio (Método Oniani suelos no carbonatados). Ciudad de la Habana: ONN, 1999. 8p.

⁴.Cuba, MINAG. NRAG 879:88: Análisis químico de suelos: Determinación de los cationes intercambiables y de la capacidad de intercambio catiónico. Ciudad de la Habana: MINAG, 1988. 10p.

⁵.Cuba, MINAG. NRAG 690:84: Análisis químico de agua. Ciudad de la Habana: MINAG, 1984. 12p.

⁶.Cuba, MINAG. NRAG 564:82: Tejido vegetal: Análisis foliar. Métodos de ensayo. Ciudad de la Habana: MINAG, 1982. 13p.

⁷.Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC 7722-01: 82a. Determinación de pH. Método de ensayo. Ciudad de la Habana: ONN, 1982.

⁸. Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC 7722-04: 82b. Determinación de sólidos solubles. Método de ensayo. Ciudad de la Habana: ONN, 1982.

⁹.Cuba, Oficina Nacional de Normalización. NC 7722-07: 82c. Determinación de la acidez. Método de ensayo. Ciudad de la Habana: ONN, 1982.

¹⁰.Cuba, Ministerio de la Industria Alimenticia. NRIAL 498:81. Métodos de ensayos para producción de frutas y hortalizas. Ciudad de la Habana: MINAL, 1981. 43p.

Anexo A8. Equipamiento utilizado para la programación del fertirriego y el control del clima, así como para las evaluaciones de calidad y postcosecha.



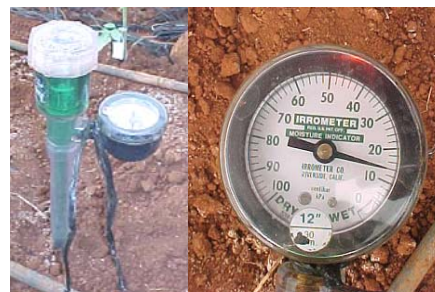
Bomba inyectora
Modelo AMIAD



Termómetro



Sonda de succión
modelo IROMETER con
equipo de extracción



Tensiómetro
modelo IROMETER



Termohigrógrafo
digital modelo EM-913



Luxómetro
Digital modelo Faithful
FT-710



Penetrómetro
modelo BERTUZZI



Estado de madurez breaker para
la conservación postcosecha
(escala 4)



Estado de madurez rojo para los
análisis bromatológicos y de
calidad externa
(escala 11)

**Carta de colores de la Empresa Española Western Seed
con una escala del 1 al 12.**

Anexo A9. Diámetro ecuatorial y diámetro polar de los frutos.

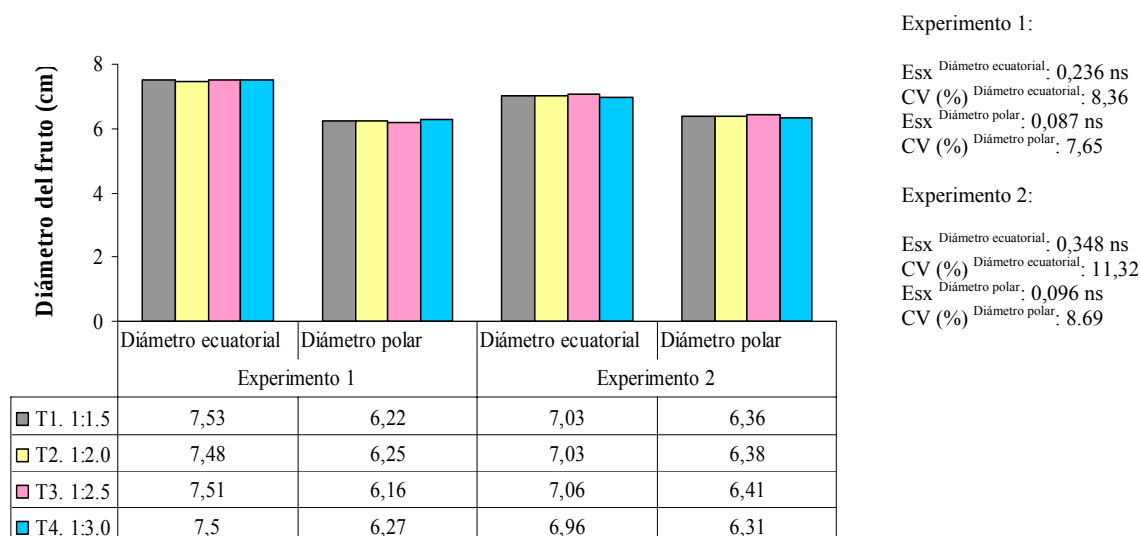


Figura A9.1. Comportamiento del diámetro ecuatorial y polar ante cuatro relaciones N:K, en el cultivo protegido del tomate, durante la época primavera - verano.

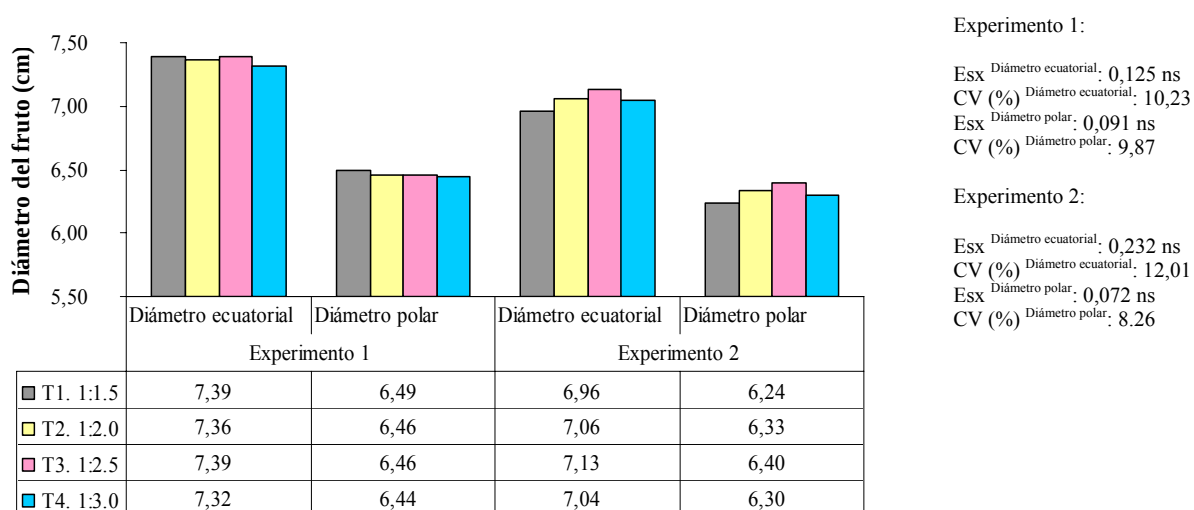


Figura A9.2. Comportamiento del diámetro ecuatorial y polar ante cuatro relaciones N:K, en el cultivo protegido del tomate, durante la época de invierno.

Anexo A10. Contenido de macronutrientes por órganos.

Tabla A10.1. Valores medios (%), error estándar y coeficientes de variación correspondientes a la concentración de macronutrientes por órganos a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate (época primavera - verano).

Nutriente	Órgano	Fases			
		I	II	III	IV
N	Hojas	4,52 $\pm$ 0,035	4,22 $\pm$ 0,058	3,21 $\pm$ 0,011	3,06 $\pm$ 0,045
		3,54 ns	6,15 ns	1,56 ns	6,67 ns
	Tallo	1,83 $\pm$ 0,009	1,78 $\pm$ 0,012	1,22 $\pm$ 0,015	1,08 $\pm$ 0,016
		2,40 ns	3,06 ns	3,88 ns	6,88 ns
	Raíz	1,21 $\pm$ 0,013	1,22 $\pm$ 0,018	1,11 $\pm$ 0,010	1,03 $\pm$ 0,016
		4,91 ns	7,00 ns	4,23 ns	7,22 ns
	Fruto		3,41 $\pm$ 0,021	3,07 $\pm$ 0,052	2,80 $\pm$ 0,027
			2,78 ns	7,52 ns	4,46 ns
	Hojas	0,60 $\pm$ 0,013	0,56 $\pm$ 0,044	0,51 $\pm$ 0,006	0,40 $\pm$ 0,006
		9,63 ns	7,63 ns	5,92 ns	9,36 ns
P	Tallo	0,34 $\pm$ 0,009	0,27 $\pm$ 0,006	0,26 $\pm$ 0,005	0,24 $\pm$ 0,005
		11,91 ns	10,48 ns	9,74 ns	9,62 ns
	Raíz	0,23 $\pm$ 0,006	0,48 $\pm$ 0,006	0,48 $\pm$ 0,006	0,69 $\pm$ 0,006
		12,18 ns	6,12 ns	5,69 ns	4,29 ns
	Fruto		0,28 $\pm$ 0,001	0,36 $\pm$ 0,007	0,48 $\pm$ 0,007
			23,41 ns	9,51 ns	7,43 ns
	Hojas	4,03 $\pm$ 0,078	4,05 $\pm$ 0,032	3,73 $\pm$ 0,041	3,63 $\pm$ 0,015
		8,74 ns	3,55 ns	4,98 ns	1,69 ns
	Tallo	2,54 $\pm$ 0,011	2,64 $\pm$ 0,027	2,70 $\pm$ 0,032	3,11 $\pm$ 0,017
		1,96 ns	4,67 ns	5,46 ns	2,53 ns
K	Raíz	1,62 $\pm$ 0,010	1,71 $\pm$ 0,004	1,58 $\pm$ 0,026	1,64 $\pm$ 0,005
		2,79 ns	1,20 ns	7,60 ns	1,55 ns
	Fruto		3,49 $\pm$ 0,005	3,72 $\pm$ 0,027	4,87 $\pm$ 0,023
			6,42 ns	3,34 ns	1,51 ns
	Hojas	3,46 $\pm$ 0,023	3,78 $\pm$ 0,021	3,93 $\pm$ 0,017	3,94 $\pm$ 0,025
		2,99 ns	2,55 ns	11,93 ns	11,51 ns
	Tallo	2,46 $\pm$ 0,023	2,67 $\pm$ 0,024	2,75 $\pm$ 0,021	2,88 $\pm$ 0,036
		4,22 ns	4,18 ns	3,49 ns	2,93 ns
	Raíz	2,58 $\pm$ 0,018	2,41 $\pm$ 0,021	2,53 $\pm$ 0,020	2,36 $\pm$ 0,036
		3,11 ns	4,03 ns	3,69 ns	6,06 ns
Ca	Fruto		3,61 $\pm$ 0,003	3,29 $\pm$ 0,012	3,11 $\pm$ 0,015
			3,82 ns	1,59 ns	2,98 ns
	Hojas	0,21 $\pm$ 0,023	0,27 $\pm$ 0,009	0,30 $\pm$ 0,003	0,33 $\pm$ 0,009
		4,21 ns	15,75 ns	5,77 ns	12,71 ns
	Tallo	0,24 $\pm$ 0,017	0,31 $\pm$ 0,014	0,31 $\pm$ 0,006	0,28 $\pm$ 0,006
		3,11 ns	21,64 ns	9,50 ns	10,52 ns
	Raíz	0,30 $\pm$ 0,005	0,25 $\pm$ 0,006	0,29 $\pm$ 0,014	0,16 $\pm$ 0,005
		11,67 ns	11,44 ns	21,29 ns	16,20 ns
	Fruto		0,27 $\pm$ 0,008	0,29 $\pm$ 0,006	0,36 $\pm$ 0,012
			13,59 ns	13,64 ns	14,94ns

ns: No existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K estudiadas para $P \leq 0.05$.

Tabla A10.2. Valores medios (%), error estándar y coeficientes de variación correspondientes a la concentración de macronutrientes por órganos a lo largo del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate (época de invierno).

Nutriente	Órgano	Fases			
		I	II	III	IV
N	Hojas	4,26 $\pm$ 0,048	3,31 $\pm$ 0,101	3,21 $\pm$ 0,074	2,81 $\pm$ 0,066
		5,07 ns	13,74 ns	10,27 ns	10,54 ns
	Tallo	1,74 $\pm$ 0,041	1,60 $\pm$ 0,021	1,23 $\pm$ 0,017	1,12 $\pm$ 0,016
		10,57 ns	5,79 ns	6,36 ns	3,18 ns
	Raíz	1,44 $\pm$ 0,014	1,32 $\pm$ 0,077	1,30 $\pm$ 0,022	1,27 $\pm$ 0,031
		4,68 ns	5,89 ns	6,76 ns	5,25 ns
	Fruto		3,01 $\pm$ 0,032	2,67 $\pm$ 0,031	2,26 $\pm$ 0,015
			4,85 ns	5,25 ns	3,13 ns
	Hojas	0,59 $\pm$ 0,031	0,48 $\pm$ 0,021	0,33 $\pm$ 0,006	0,28 $\pm$ 0,0124
		23,22 ns	20,34 ns	13,45 ns	19,90 ns
P	Tallo	0,27 $\pm$ 0,007	0,23 $\pm$ 0,007	0,17 $\pm$ 0,004	0,17 $\pm$ 0,045
		13,23 ns	14,08 ns	11,54 ns	12,23 ns
	Raíz	0,26 $\pm$ 0,054	0,42 $\pm$ 0,021	0,48 $\pm$ 0,009	0,70 $\pm$ 0,023
		9,58 ns	22,28 ns	9,14 ns	14,86 ns
	Fruto		0,24 $\pm$ 0,006	0,30 $\pm$ 0,008	0,44 $\pm$ 0,008
			12,31 ns	12,65 ns	8,47 ns
K	Hojas	3,88 $\pm$ 0,129	3,82 $\pm$ 0,042	3,76 $\pm$ 0,117	3,64 $\pm$ 0,081
		14,92 ns	4,68 ns	13,99 ns	10,01 ns
	Tallo	2,76 $\pm$ 0,106	2,81 $\pm$ 0,070	3,31 $\pm$ 0,054	3,64 $\pm$ 0,045
		17,32 ns	11,19 ns	7,33 ns	5,56 ns
	Raíz	1,78 $\pm$ 0,006	1,49 $\pm$ 0,005	1,43 $\pm$ 0,015	1,30 $\pm$ 0,003
		1,65 ns	1,50 ns	4,81 ns	1,02 ns
	Fruto		3,34 $\pm$ 0,026	4,31 $\pm$ 0,032	5,47 $\pm$ 0,065
			3,63 ns	3,36 ns	5,34 ns
Ca	Hojas	3,63 $\pm$ 0,026	4,27 $\pm$ 0,043	3,12 $\pm$ 0,108	2,84 $\pm$ 0,014
		3,27 ns	4,46 ns	15,59 ns	2,23 ns
	Tallo	2,62 $\pm$ 0,009	3,73 $\pm$ 0,034	3,93 $\pm$ 0,033	3,93 $\pm$ 0,013
		1,58 ns	4,10 ns	3,75 ns	1,58 ns
	Raíz	2,70 $\pm$ 0,035	2,33 $\pm$ 0,026	2,55 $\pm$ 0,043	2,34 $\pm$ 0,014
		5,82 ns	5,01 ns	7,67 ns	2,71 ns
	Fruto		3,43 $\pm$ 0,069	3,37 $\pm$ 0,027	2,69 $\pm$ 0,026
			9,08 ns	3,60 ns	4,45 ns
Mg	Hojas	0,27 $\pm$ 0,019	0,30 $\pm$ 0,006	0,33 $\pm$ 0,098	0,36 $\pm$ 0,012
		7,04 ns	13,43 ns	13,29 ns	15,75 ns
	Tallo	0,26 $\pm$ 0,009	0,31 $\pm$ 0,014	0,31 $\pm$ 0,007	0,28 $\pm$ 0,006
		16,07 ns	21,64 ns	10,26 ns	10,51 ns
	Raíz	0,26 $\pm$ 0,006	0,22 $\pm$ 0,006	0,21 $\pm$ 0,007	0,17 $\pm$ 0,004
		10,86 ns	13,10 ns	15,25 ns	11,17 ns
	Fruto		0,28 $\pm$ 0,007	0,31 $\pm$ 0,007	0,35 $\pm$ 0,009
			14,10 ns	13,40 ns	12,35 ns

ns: No existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K estudiadas para $P \leq 0.05$.

Anexo A11. Acrónimos, siglas y abreviaturas utilizadas en el texto.

Acrónimos, siglas y abreviaturas.	Descripción
AT	Acidez titulable (%)
B	Biomasa (g/m ²)
C/P	Costo por peso de producción
CE	Conductividad eléctrica (mS/cm)
CENIC	Centro de Investigaciones Científicas
CF	Costo de aplicación del fertilizante (CUC/ha)
CIDAPA	Comité Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de los Plásticos en la Agricultura
CIFA	Centro de Investigación y Formación Agrarias (España)
CIRAD	Centro para la Cooperación Internacional en la Investigación Agrícola para el Desarrollo (Martinica)
CND	Compositional nutrient diagnosis
CP	Costo de producción de una hectárea para un ciclo de tomate (CUC/ha)
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DCF	Días cubiertos con el fertirriego (días)
ddt	Días después del trasplante
DFC	Duración de las fases de crecimiento (días)
DRIS	Diagnosis and Recommendation Integrated Systems
E	Exterior
E + P	Extra + primera
EI	Época de invierno
EMS	Porcentaje del elemento en materia seca (%)
EPV	Época primavera - verano
Est.	Estimación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FIAPA	Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería
G	Ganancia (CUC/ha)
HA	HAZERA
I	Interior
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Managua, Nicaragua
IIHLD	Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”
INCA	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
INIA	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)
MFP	Ministerio de Finanzas y Precios
MINAG	Ministerio de la Agricultura
MINAL	Ministerio de la Industria Alimenticia
MINAZ	Ministerio del Azúcar
MINBAS	Ministerio de la Industria Básica
MINFAR	Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
MININT	Ministerio del Interior
MINTUR	Ministerio del Turismo
MN	Moneda Nacional
MPF	Masa promedio del fruto (g)
MS	Masa seca (%)
N	Norte
NC	Norma cubana
NF	Número de frutos
NFT	Nutrient Film Techniques
NRAG	Norma Ramal del Ministerio de la Agricultura

Acrónicos, siglas y abreviaturas.	Descripción
ONE	Oficina Nacional de Estadísticas
ONN	Oficina Nacional de Normalización
PAR	Radiación fotosintéticamente activa
PDM	Pérdidas por daños microbiológicos (%)
PMAF	Pérdidas de masa por actividad fisiológica (%)
PNO	Procedimientos Normalizativos de Operación
Q	Absorción (g/m ²)
R	Rentabilidad
RCN	Rango Crítico de Nutrientes
Rend.	Rendimiento (t/ha)
RR	Rendimiento Relativo (%)
SF	Solución fertilizante
SGC	Statistical Graphics Corporation
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SQM	Sociedad Químico Minera de Chile
SS	Solución del suelo
SST	Sólidos solubles totales (°Brix)
T	Tratamiento
TMV	Virus del mosaico del tabaco
TYLCV	Virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate
USSL	United State Salinity Laboratory
VIR	Valor del incremento del rendimiento (CUC/ha)
VP	Valor de la producción (CUC/ha)
W	Oeste
X	Media