



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES
PROGRAMA DE EDAFOLOGÍA**

**TRANSPORTE DE NITRÓGENO EN *Physalis peruviana* L. COMO
RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NITRATO Y AMONIO EN LA
SOLUCIÓN NUTRITIVA**

EDUARDO MÉNDEZ MERINO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

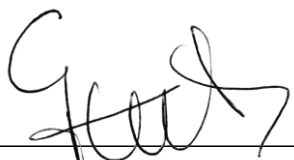
2013

La presente tesis titulada: “**TRANSPORTE DE NITRÓGENO EN *Physalis peruviana* L. COMO RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NITRATO Y AMONIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**” realizada por el alumno **Eduardo Méndez Merino**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALISTA EN EDAFOLOGÍA**

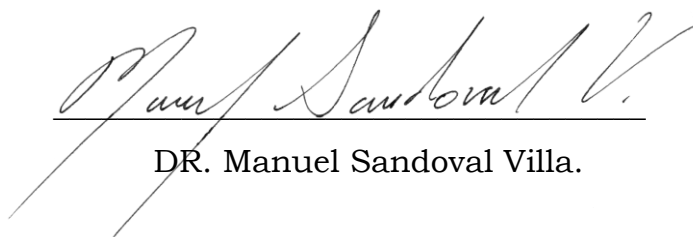
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:




DR. E. Gabriel Alcántar González.

ASESOR:



DR. Manuel Sandoval Villa.

ASESOR:



MC. Arturo Curiel Rodríguez.

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre 2013.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme siempre y en todo momento de dificultad, permitir terminar satisfactoriamente mis estudios de postgrado y por cuidar de mi familia en las horas de ausencia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, esta institución de enorme calidad, que me brindó todo el apoyo durante mi estancia.

A mi Consejero, Dr. E. Gabriel Alcántar González, por los conocimientos invaluableles que me brindó para llevar a cabo esta investigación, y sobre todo a su gran paciencia para esperar a que esta investigación llegará a su fin.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa, por su apoyo, su valiosa cooperación y disponibilidad brindada para este proyecto.

Al MC. Arturo Curiel Rodríguez, por la confianza, su apoyo y sus acertadas observaciones durante el desarrollo de esta investigación.

Al personal secretarial del programa de Edafología por su labor tan valiosa y eficiente.

Al personal del Laboratorio de Nutrición Vegetal Salvador Alcalde Blanco y del Laboratorio de Fertilidad de Suelos por las facilidades otorgadas para la realización de la Investigación.

Agradezco a aquellas personas que hacen posible el conocimiento, profesores del postgrado, trabajadores y alumnos. A mis compañeros y amigos por los buenos y malos momentos. A todos los que alguna vez compartieron sus conocimientos para enriquecernos todos.

A mis padres Refugio Méndez Montes[†], Marina Merino Duran[†], Pedro Merino Lima, Bernarda Durán Soto, que me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo, amor. Quienes sin estimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida, que me han formado y educado. A quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertido en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar con las riquezas más grandes del mundo. A ellos, los seres más queridos, sinceramente Gracias.

Eduardo Méndez Merino
Maestro en Ciencias en Edafología
2013

DEDICATORIA

A mis padres, Refugio Méndez Montes†, Marina Merino Duran†, Pedro Merino Lima, Bernarda Durán Soto y a Pedro Merino Durán porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de la vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mí se depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios de postgrado y por lo cual viviré eternamente agradecido.

A mis hermanos, Israel Méndez Merino y Leticia Méndez Merino.

Con la alegría de haber compartido infinidad de momentos dedico éste trabajo a mis amigos...

*Eduardo Méndez Merino
Maestro en Ciencias en Edafología
2013*

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
SUMMARY	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. El Cultivo de <i>Physalis peruviana</i> L.....	2
2.1.1. Origen y distribución	2
2.1.2. Importancia	3
2.1.3. Producción	4
2.2. El Nitrógeno y la Nutrición Mineral	6
2.3. Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	7
2.4. Rendimiento de Cultivos y <i>Physalis peruviana</i> L.....	10
2.5. Nitratos, Dinámica y Diagnóstico	13
2.6. Nitrógeno Reducido, Dinámica y Diagnóstico	17
2.7. Nitrógeno Total, Dinámica y Diagnóstico	19
2.8. Absorción y Translocación de Nitrógeno y Sistema de Raíces.....	21
2.9. Dinámica de las Formas Nitrogenadas	22
2.10. Correlación de las Formas Nitrogenadas y Rendimiento	24
2.11. Diagnóstico Nutrimental	25
2.12. Análisis de Tejido Vegetal.....	28
2.13. Conclusiones de la Revisión de Literatura	31
III. OBJETIVOS	32
3.1. General.....	32
3.2. Particulares	32
IV. HIPÓTESIS	33
4.1. General.....	33
4.2. Particulares	33

V.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1.	Ubicación del Experimento	34
5.2.	Características del Material Vegetal	34
5.3.	Insumos de Nutrición Empleados.....	34
5.4.	Tratamientos	36
5.5.	Diseño Experimental y de Tratamientos	36
5.6.	Muestreos y Variables Evaluadas.....	38
5.6.1.	Nitrógeno total (Método Kjeldahl)	38
5.6.2.	Nitratos (Método de Cataldo).....	39
5.6.3.	Nitrógeno reducido (Método de Nessler)	41
5.7.	Análisis Estadístico.....	42
5.8.	Conducción del Experimento	42
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
6.1.	Plantas Sometidas a Poda	43
6.1.1.	Nitrógeno total.....	43
6.1.2.	Nitrógeno nítrico.....	45
6.1.3.	Nitrógeno reducido	49
6.1.4.	Rendimiento	51
6.1.5.	Correlación lineal simple entre las variables	52
6.1.6.	Coefficiente de variación en las etapas fenológicas.....	54
6.2.	Plantas de Semilla	56
6.2.1.	Nitrógeno total.....	56
6.2.2.	Nitrógeno nítrico.....	58
6.2.3.	Nitrógeno reducido	60
6.2.4.	Rendimiento	62
6.2.5.	Correlación lineal simple entre las variables	63
6.2.6.	Coefficiente de variación en las etapas fenológicas.....	65
6.3.	Análisis General	66
VII.	CONCLUSIONES	68
VIII.	LITERATURA CITADA.....	71
IX.	APENDICE	97

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes y cantidad de fertilizantes empleados en la investigación.....	35
Cuadro 2. Aporte de micronutrientes a través de Fermil Soluble®.....	36
Cuadro 3. Curva de calibración para la determinación de N-NO ₃	40
Cuadro 4. Curva de calibración para la determinación de N-Reducido.....	41
Cuadro 5. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total en plantas sometidas a poda.....	44
Cuadro 6. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-NO ₃ ⁻ en plantas sometidas a poda.....	47
Cuadro 7. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-reducido en plantas sometidas a poda.....	49
Cuadro 8. Promedio de tratamientos sobre el rendimiento en plantas sometidas a poda.....	52
Cuadro 9. Correlación entre el número de frutos vs N-total, N-NO ₃ ⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda.....	53
Cuadro 10. Comportamiento de las variables N-total, N-NO ₃ ⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda respecto a su variabilidad promedio.....	54
Cuadro 11. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total en plantas de semilla.....	56
Cuadro 12. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-NO ₃ ⁻ en plantas de semilla.....	59
Cuadro 13. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-reducido en plantas de semilla.....	60
Cuadro 14. Promedio de tratamientos sobre el rendimiento en plantas de semilla.....	63
Cuadro 15. Correlación entre el número de frutos vs N-total, N-NO ₃ y N-reducido en plantas de semilla.....	64

Cuadro 16. Comportamiento de las variables N-total, N-NO ₃ ⁻ y N-reducido en plantas de semilla respecto a su variabilidad promedio.....	65
--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tratamientos en las plantas sometidas a poda.....	37
Figura 2. Distribución de los tratamientos en plantas de semilla.....	37
Figura 3. Dinámica del N-total en plantas sometidas a poda.....	45
Figura 4. Dinámica del N-NO ₃ ⁻ en plantas sometidas a poda.....	48
Figura 5. Dinámica del N-reducido en plantas sometidas a poda.....	50
Figura 6. Dinámica del N-total en plantas de semilla.....	57
Figura 7. Dinámica del N-NO ₃ ⁻ en plantas de semilla.....	59
Figura 8. Dinámica del N-reducido en plantas de semilla.....	61

INDICE DE ANEXOS

Cuadro 1A. Instalación y conducción del experimento.....	97
Cuadro 2A. Correlación N-total vs N-NO ₃ ⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda.....	98
Cuadro 3A. Correlación N-total vs N-NO ₃ y N-reducido en plantas de semilla.....	98
Cuadro 4A. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total, N-NO ₃ ⁻ y N-reducido por muestreo en plantas sometidas a poda.....	99
Cuadro 5A. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total, N-NO ₃ ⁻ y N-reducido por muestreo en plantas de semilla.....	99
Cuadro 6A. Ecuaciones de estimación para las tres variables en plantas sometidas a poda.....	100
Cuadro 7A. Ecuaciones de estimación para la variable N-total en plantas de semilla.....	101

Cuadro 8A. Ecuaciones de estimación para las variables N-NO ₃ y N-reducido en plantas de semilla.....	101
Figura 1A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 100/0 en plantas sometidas a poda.....	102
Figura 2A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 75/25 en plantas sometidas a poda.....	103
Figura 3A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 50/50 en plantas sometidas a poda.....	104
Figura 4A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 100/0 en plantas de semilla.....	105
Figura 5A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 75/25 en plantas de semilla.....	106
Figura 6A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 50/50 en plantas de semilla.....	107

TRANSPORTE DE NITRÓGENO EN *Physalis peruviana* L. COMO RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NITRATO Y AMONIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

**Eduardo Méndez Merino, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2013.**

RESUMEN

El experimento se inició en julio de 2012 en condiciones de hidroponía, en un invernadero del área de nutrición vegetal del Colegio de Postgraduados. Se establecieron plantas sometidas a poda de *Physalis peruviana* L. bajo el diseño de bloques completamente al azar y plantas de semilla en el diseño completamente al azar bajo diferentes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (100/0, 75/25 y 50/50) con la finalidad de evaluar la concentración de N-total, N- NO_3^- y N-reducido en el tejido vegetal en 4 y 3 muestreos, respectivamente, para su uso como herramienta de diagnóstico nutrimental. Los muestreos en plantas sometidas a poda fueron a 39, 64, 87 y 108 días después de aplicado el tratamiento (ddt) y en las plantas de semilla a 64, 87 y 108 ddt. Adicionalmente se midió el rendimiento. Se realizó el análisis de varianza correspondiente, pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), pruebas de correlación entre cada variable con el rendimiento y se establecieron ecuaciones de regresión para estimar las formas nitrogenadas dentro del periodo de estudio. En plantas sometidas a poda no hubo diferencias estadísticas significativas en las variable N-total y N- NO_3^- en ningún muestreo, sin embargo en la variable N-reducido hubo diferencias estadísticas significativas a 39 ddt donde la relación 75/25 (1.59%) presentó mayor concentración que 100/0 y 50/50 (1.24% y 1.41%, respectivamente) y a 108 ddt la relación 100/0 (1.36%) fue superior estadísticamente a 75/25 (1.10%), la variable rendimiento no manifestó diferencias estadísticas entre tratamientos. Con respecto a las plantas de semilla hubo diferencias estadísticas significativas en la variable N-total a 87 ddt donde la relación 100/0 (4.33%) fue superior estadísticamente a 75/25 (3.55%) y a 108 ddt la relación 100/0 (4.08%) fue estadísticamente superior a 75/25 (3.54%). En la variable N- NO_3^- solo hubo diferencias a 87 ddt donde 100/0 (0.14%) fue

superior a la relación 50/50 (0.11%). En la variable N-reducido no se observaron diferencias significativas en ningún muestreo. La variable rendimiento manifestó diferencias estadísticas entre tratamientos donde la relación 75/25 mostró el rendimiento más alto y la relación 100/0 el más bajo (600.50 y 351.99 g, respectivamente). En ambos grupos de plantas no hubo correlación (0.05 %) entre el rendimiento y las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en ningún muestreo, excepto para la variable N-NO₃⁻ a los 87 ddt que correlaciona negativamente con el rendimiento en plantas de semilla. En plantas sometidas a poda la variable N-total fue la de menor variabilidad y mayor consistencia en los muestreos a 39, 64 y 87 ddt, sin embargo en el muestreo a 108 ddt la variable N-reducido presentó menor variación y por consecuencia puede ser mejor indicador del estado del nitrógeno que la medición del N-total. La medición de la concentración de N-NO₃⁻ en todos los muestreos presentó la mayor variación e inconsistencia. En plantas de semilla la variable N-total fue la de menor variación y mayor consistencia en los tres muestreos, a 64, 87 y 108 ddt. Además la variable N-reducido fue la de variabilidad intermedia en los muestreos a 64 y 108 ddt, siendo en estas etapas la de mayor variabilidad la variable N-NO₃⁻. En el muestreo a 87 ddt la variable N-reducido fue la de mayor inconsistencia y mayor variabilidad. Finalmente considerando la variación promedio de todos los muestreos se concluyó que la medición de N-total es el indicador más estable (CV=15.89% y 6.33% en plantas sometidas a poda y plantas de semilla, respectivamente) y por tanto más consistente para usarse con fines de diagnóstico nutrimental en el cultivo de *Physalis peruviana* L. en sistemas hidropónicos y condiciones de manejo similares. Los valores óptimos de la concentración de N-total son: en plantas sometidas a poda 4.67% a 39 ddt, 5.08% a 64 ddt, 4.04% a 87 ddt y 3.34% a 108 ddt; en plantas de semilla 4.90% a 64 ddt, 3.55% a 87 ddt y 3.54% a 108 ddt. Las concentraciones anteriores son producto de la relación 75/25 con la cual se obtuvo el mejor rendimiento en ambos grupos de plantas.

Palabras clave

Nitrógeno; Dinámica Nutrimental; Diagnóstico Nutrimental.

**NITROGEN TRANSPORT IN *Physalis peruviana* L. IN RESPONSE TO
NITRATE AND AMMONIUM APPLICATION IN NUTRIENT SOLUTION**

Eduardo Méndez Merino, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013.

SUMMARY

This experiment was started in July 2012 in hydroponic conditions, in a greenhouse of the plant nutrition area from the Colegio de Postgraduados. Pruned plants of *Physalis peruviana* L. were established under the randomized complete block design and plants coming from seeds were established in a completely randomized design in different concentrations of $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (100/0, 75/25 and 50/50) in order to evaluate the concentration of total-N, NO_3^- -N and reduced-N in plant tissue in 4 and 3 samples, respectively, in order to be used as a nutrimental diagnostic tool. The pruned plants samplings were taken at 39, 64, 87 and 108 days after the treatment was applied (ddt) and in the plants coming from seeds 64, 87 and 108 ddt. Furthermore, the yield was evaluated. An analysis of variance, means comparison test of Tukey ($\alpha=0.05$), correlation tests between each variable with the yield and regression equations were established in order to estimate nitrogen forms during the study period. The results show that in pruned plants did not have statistical significant differences in the variables: total-N and NO_3^- -N in any sample, however in the reduced-N variable, showed significant statistics differences in 39 ddt where the ratio 75/25 (1.59%) showed higher concentration than 100/0 and 50/50 (1.24% and 1.41%, respectively) and at 108 ddt the relationship 100/0 (1.36%) was statistically superior to 75/25 (1.10%), in the yield variable did not show statistics differences between treatments. Regarding to the plants coming from seeds, they showed significant statistics differences for the variable total-N at 87 ddt where the ratio 100/0 (4.33%) was statistically superior to 75/25 (3.55%) and at 108 ddt the ratio 100/0 (4.08%) was statistically superior to 75/25 (3.54%). With respect to the variable NO_3^- -N only showed differences at 87 ddt where 100/0 (0.14%) was higher than the ratio 50/50 (0.11%). In the reduced-N variable did not show significant statistics differences in any

sample. The yield variable showed statistical differences between treatments where the ratio 75/25 showed the highest yield and the ratio 100/0 the lowest (600.50 and 351.99 g, respectively). In fact, both groups of plants did not show correlation (0.05%) between yield and total-N, NO₃-N and reduced-N variables in any sample, except in the NO₃-N at 87 ddt variable which negatively correlated with the yield of plants coming from seed. In pruned plants the total-N variable showed less variability and more consistency than the samples at 39, 64 and 87 ddt, however in the sample at 108 ddt the reduced-N variable showed less variation and therefore can be the best indicator of the nitrogen status than the total-N variable. With respect to the concentration measure of NO₃-N in all samples showed the greatest variation and inconsistency. In plants coming from seed the total-N variable showed less variation and greater consistency in the three samples, 64, 87 and 108 ddt. Also the reduced-N variable showed intermediate variability in the samples at 64 and 108 ddt, being these stages the most changeable NO₃-N variable. In sampling at 87 ddt the variable reduced-N was the most inconsistent and greater variability. Finally considering the average change of all samples was concluded that measuring total-N is a more stable indicator (CV=15.89% and 6.33% than in pruned plants and plants coming from seed, respectively) and therefore more consistent to use with nutritional diagnostic purposes in *Physalis peruviana* L. in hydroponic systems and similar conditions. The optimal values of the concentration of total-N are: in pruned plants 4.67% at 39 ddt, 5.08% at 64 ddt, 4.04% at 87 ddt and 3.34% at 108 ddt; in plants coming from seed 4.90% at 64 ddt, 3.55% at 87 ddt and 3.54% at 108 ddt. The above concentrations are the product of the ratio 75/25 with which the best yield was obtained in both groups of plants.

Keywords

Nitrogen; Nutritional Dynamics, Nutritional Diagnosis.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Physalis peruviana* L. conocido como “Uchuva” o “Cape Gooseberry” es de importancia reciente en México debido a su excelente oportunidad de mercado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002) y a su alto contenido de vitaminas A y C, fósforo, hierro, potasio y zinc (Fischer y Almanza, 1993; Ahmad *et al.*, 1999; Wu *et al.* 2005), siendo además ampliamente conocida por sus propiedades físicas, químicas, nutricionales y medicinales (Fischer *et al.*, 2000b). Sin embargo, no existe suficiente información referente a su nutrición mineral. Se reportó recientemente que crece, desarrolla y fructifica de forma adecuada, con la solución Steiner al 50% en México (Gastelum, 2013). La concentración de nitrógeno (N) y su acumulación en tejido vegetal son los dos mayores indicadores para caracterizar el status del N en cultivos (Yao *et al.*, 2007). Generalmente el diagnóstico del nivel de nitrógeno se realiza a través de las mediciones de N-total y N-NO₃⁻ (Rubio *et al.*, 2009). En el cultivo de *Physalis peruviana* L. no se tiene información referente a nutrición nitrogenada y su diagnóstico en México. Debido a lo anterior se planteó el siguiente problema de investigación: ¿Cómo se transporta el nitrógeno en *Physalis peruviana* L. como respuesta a la aplicación de nitrato y amonio en la solución nutritiva, con la finalidad de determinar pruebas de suficiencia de N adecuadas?

Los objetivos que guiaron la investigación fueron: a) identificar los compuestos nitrogenados transportados en diferentes estados de crecimiento en *Physalis peruviana* L., como respuesta a la aplicación de nitrato y amonio en la solución nutritiva, b) evaluar la concentración de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas de semilla y sometidas a poda de *Physalis peruviana* L. para su uso en el diagnóstico nutrimental, además de identificar la principal forma nitrogenada translocada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Cultivo de *Physalis peruviana* L.

2.1.1. Origen y distribución

Estupiñan y Ossa (2007) indican que la uchuva (*Physalis peruviana* L.) pertenece a la familia Solanaceae, la cual posee cerca de 90 géneros y más de 2,600 especies de distribución cosmopolita pero centrada en la zona tropical.

El género *Physalis* incluye 100 especies conocidas, tres de ellas son cultivadas como hortaliza (*Physalis ixocarpa* Brot., *Physalis peruviana* L. y *Physalis pruinosa* L.) y una como ornamental (*Physalis alkekengii* L.) (Abak *et al.*, 1994). Ahmad *et al.* (1999) mencionan que el género *Physalis* incluye unas 120 especies distribuidas principalmente en América del Sur y del Norte. Cedeño y Montenegro (2004) indican que del género *Physalis* hay más de 80 variedades.

Physalis peruviana L. es una planta nativa de la región de los Andes que se ha mantenido intacta y sin cambios aparentes en la estructura de su germoplasma. El centro de origen de acuerdo con Legge (1974) fueron los Andes peruanos pero, de acuerdo a un estudio realizado por los países pertenecientes al “Convenio Andrés Bello” en 1983, un área más grande fue identificada como el origen de *Physalis peruviana* L. incluyendo los Andes ecuatorianos (Brito, 2002). De acuerdo con Klinac (1986) la uchuva es originaria de Perú. Góngora y Rojas (2006) mencionan que la especie frutícola es originaria de los andes sudamericanos. Abak *et al.* (1994) mencionan que la especie crece en forma silvestre y semisilvestre en la zona Andina (800 a 3000 m de altitud) y ha sido introducida a varios países del mundo. Está ampliamente distribuida en la zona andina y se encuentra en casi todos altiplanos de los trópicos y en varias partes de los subtropicos donde se comporta como planta anual o perenne, respectivamente (Morton, 1987; Criollo e Ibarra, 1992; Chia *et al.*, 1997; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

Fischer (2000) menciona que la especie *Physalis peruviana* L. fue introducida en Sudáfrica por los españoles y desde allí se ha trasladado a diferentes países del trópico y del subtrópico en donde se cultiva comercialmente. Ha sido introducida en otras áreas del mundo para su cultivo y se le puede encontrar en el Sur y Centro de África, en las Antillas, Australia, Nueva Zelanda, China, India, Malasia, Filipinas, Estados Unidos de Norte América e Inglaterra (Morton, 1987), en áreas ubicadas desde el nivel del mar hasta los 2,400 m (Morton, 1987; Criollo e Ibarra, 1992; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

Finalmente *Physalis peruviana* L., es conocida como “uchuva” en Colombia, “uvilla” en Ecuador, “aguaymanto” en Perú, “topotopo” en Venezuela y “Goldenberry” en países de habla inglesa (Puente *et al.*, 2011) y se ha clasificado en ecotipos o plantas de diferentes regiones o países, que se diferencian por el tamaño, color y sabor, forma de la cabeza de la flor y de la altura y el tamaño de la planta. El tipo de Colombia se caracteriza por frutos pequeños con un peso promedio de 5 g, con el color más intenso y mayor contenido de azúcar en comparación con ecotipos de Kenia y Sudáfrica, estas características lo hacen que sea más aceptable para los mercados (Almanza y Espinosa, 1995; Fischer *et al.*, 2000a).

2.1.2. Importancia

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) se caracteriza por su alto contenido de vitaminas A y C, fósforo, hierro, potasio y zinc (Fischer y Almanza, 1993; Ahmad *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2005). El fruto es una baya redonda y pequeña cuyo peso varía entre 4 y 10 g (Rojas *et al.*, 2005). Puede consumirse fresco, en ensaladas o en cócteles, o puede ser utilizado para elaborar conservas, salsas y pasteles (Klinac, 1986; Hewett, 1993). Su sabor al ser preparado en salsas combina con carnes, mariscos, vegetales y otros frutos, y secadas al sol se consumen como pasas (Sanjinés *et al.*, 2006, Calvo, 2009). Su jugo tiene altos niveles de pectinasa, lo cual reduce los costos en la elaboración de mermeladas

y otros productos similares; también se le atribuyen propiedades medicinales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

La uchuva es considerada una fruta exótica y es utilizada para preparar yogurt, postres, helados, bebidas, mermeladas y salsas. Es ampliamente conocida por sus propiedades físicas, químicas, nutricionales y medicinales, las cuales son asociadas a la capacidad antioxidante de los polifenoles presentes; es excelente fuente de provitamina A, rica en vitamina C, E, K1 y complejo vitamínico B (Fischer *et al.*, 2000b).

Criollo e Ibarra (1992) mencionan que *Physalis peruviana* L. puede alcanzar gran importancia, ya que sus posibilidades de exportación son amplias. Esta especie se está considerando entre los cultivos más prometedores para la áreas subtropicales frescas de EE.UU. (McCain, 1993). En México, esta especie tiene excelente oportunidad de mercado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002). Su demanda ha aumentado en Europa, donde se comercializan 5,000 kg de futo al año y las canastillas con 100 g de éste alcanzan un precio de 1.5 a 2.5 euros, ya que está ganando popularidad en los mercados de especialidad (Klinac, 1986; Palme, 2002).

2.1.3. Producción

Abak *et al.* (1994) mencionan que los principales países productores son Nueva Zelanda, Australia, Sudáfrica, Kenia, India y Colombia; también ha sido cultivada por cortos periodos en Francia. Mazorra *et al.* (2006) y Velásquez *et al.* (2007) por su parte indican que Colombia es el productor más grande seguido por Sudáfrica.

Además, se cultiva de manera significativa en Zimbawe, Kenya, Ecuador, Perú, Bolivia y México (Calvo, 2009). En Colombia, la uchuva es uno de los frutos de exportación más importantes, siendo el principal destino Europa, destacándose Alemania y Holanda con más del 60% de la demanda (Corporación Colombiana

Internacional, 2002). Este crecimiento sin precedentes está concentrado en el mercado europeo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Corporación Colombiana Internacional, 2006). El área cultivada con uchuva entre los años 2001 a 2003 se incrementó de 432 a 534 hectáreas sembradas en las distintas zonas productoras de Antioquia, Cundinamarca y Boyáca, siendo éste último el mayor productor de uchuva en Colombia con 36.3% de la producción nacional (Sanabria, 2005; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009). Angulo (2005) reportó que en los últimos años las exportaciones de uchuva se han venido incrementando, en el 2005 alcanzaron un total de ingresos por US\$ 23,841.328, correspondientes a 6421.664 toneladas de fruta, superando así, el total anual exportado en el 2004.

La uchuva es hoy la fruta más importante en términos de exportaciones para Colombia, excluyendo banano y plátano (Fischer y Martínez, 1999; Observatorio Agrocadenas, 2002; Espinoza *et al.*, 2004). De acuerdo con Flórez *et al.* (2000) y Salazar *et al.* (2005) los avances en investigación en el manejo de cultivos y el manejo post-cosecha han dado lugar a nuevas tecnologías y el aumento de las exportaciones de la fruta. La uchuva es uno de los principales productos de exportación de ese país (Proexport, 2011).

Castro *et al.* (2008) mencionaron que Colombia produjo 11,500 toneladas anuales de frutos de *Physalis peruviana* L. En ese mismo año, en Colombia y Perú se produjeron 15,463 y 700 toneladas de uchuva, respectivamente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009; CEPES, 2010). En el año 2011, se exportaron 6,941 t de fruta fresca de Colombia (Agronet, 2012).

La uchuva es un cultivo hortícola menor de rendimiento creciente. Ha logrado cada vez mayor importancia económica en las dos últimas décadas y ha sido introducido como un cultivo especializado en las regiones cálidas en todo el mundo, en particular en algunos países de América (EE.UU., México, y Colombia), así como en áreas específicas de Oceanía (Australia y Nueva

Zelanda), Asia (India) y África central y del Sur (Klinac, 1986), Malasia, China y países del Caribe (Velásquez *et al.*, 2007).

2.2. El Nitrógeno y la Nutrición Mineral

El N₂ es el elemento más abundante entre los gases que constituyen la atmósfera (representa el 78% volumétricamente), sin embargo, se encuentra en forma de gas inerte y no es utilizable directamente por las plantas, cuyas raíces lo absorben principalmente en forma de iones NO₃⁻ y NH₄⁺ (Barber, 1995; Mishra *et al.*, 1997; Sellstedt, 1997; Mengel y Kirkby, 2001).

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante que se encuentra en el tejido vegetal después del carbono, oxígeno e hidrogeno, además éste es parte importante de un gran número de los constituyentes de las plantas, proteínas y clorofila, entre otros (Mengel y Kirkby, 1987). Hopkins (1995), Jones (1998), Marschner (1998), Taiz y Zeiger (1998), Mengel y Kirkby (2001) mencionan que de entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el nitrógeno es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc.

El nitrógeno juega un papel fundamental en la nutrición inorgánica de las plantas y por lo tanto, en la determinación del crecimiento. La forma de N suministrado, en gran medida, controla la relación de adsorción de cationes y aniones y, por tanto, influye en la producción de materia seca, en la rizosfera y en el pH apoplástico (Mengel, 1995; Marschner, 1997). La proporción de N-NH₄⁺ en relación al N-NO₃⁻ en el medio es un factor importante que determina su adquisición y la respuesta en crecimiento de las plantas (Mills *et al.*, 1976a,b). Bloom (1988), Marschner (1995), Srivastava y Singh (1999) mencionan además que la forma iónica de N disponible influye en el equilibrio iónico dentro de las plantas, y en muchos casos también la productividad.

La mayoría de las plantas vasculares adquieren el N como NO_3^- o NH_4^+ . El N es tomado por lo general a través de la absorción por la raíz de la solución del suelo y luego es sometido a sistemas complejos de asimilación, transformación, y movilización dentro de las plantas (Nicoulaud y Bloom, 1996; Romero *et al.*, 2004). Las plantas generalmente muestran diferentes respuestas en su fisiología y su crecimiento a diferentes fuentes de N agregadas (Kato, 1980; Okano *et al.*, 1997; Majerowicz *et al.*, 2000). La preferencia por NH_4^+ o NO_3^- varía en función de las especies de plantas, que por lo general se relaciona con adaptaciones fisiológicas a los ecosistemas naturales (Adams y Attiwill, 1982; Majerowicz *et al.*, 2000). La absorción o translocación de nitrato o amonio ha sido investigada extensivamente en cultivos hidropónicos, ya sea en etapas de plántula o etapas reproductivas (Shelp, 1987; Liu y Shelp, 1993; Kasola y Bloom, 1996). La utilización de nitrato o amonio es influenciada por el genotipo de la planta (Gabelman *et al.*, 1986) y es afectada por la etapa de crecimiento (McElhannon y Mills, 1978; Mills y McElhannon, 1982). Las plantas maduras de pepino muestran una tolerancia relativamente alta al NH_4^+ (Zornoza y Carpena, 1992). Sin embargo, las plantas jóvenes son sensibles a altas concentraciones de NH_4^+ , que causan tallos cortos, delgados, reducción de peso fresco y seco (Ingestad, 1973) y un sistema radicular débil (Matsumoto y Tamura, 1981).

En general, los cultivos con altos contenidos de proteína absorben más nitratos que aquellos con bajos contenidos de proteína. Las diferencias entre las especies y cultivares con respecto a la acumulación de nitratos han sido documentadas (Barker *et al.*, 1971, 1974; Maynard y Barker, 1974; Maynard *et al.*, 1976).

2.3. Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$

Aproximadamente el 70% de los cationes y aniones absorbidos por las plantas están representados por amonio o nitrato (Jungk, 1970), las formas de N absorbidas por las raíces son muy importantes en términos del equilibrio de

iones y el crecimiento de las plantas. Tadano y Tanaka (1976) reportaron la capacidad de absorción selectiva de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ por 21 cultivos. Tanto el NH₄⁺ y NO₃⁻ son importantes fuentes de nitrógeno para el crecimiento vegetal (Marschner, 1995) y la preferencia por un ion particular es un factor importante que afecta la composición vegetal (Kronzucker *et al.*, 1997). Bloom (1997) menciona que está bien conocido que las plantas pueden absorber NH₄⁺ y NO₃⁻, pero todavía hay desacuerdo sobre cual forma N es la preferida.

La tasa y forma de N utilizado por las plantas es altamente influenciada por factores internos y externos. Los factores externos tales como la forma de N (Maynard y Barker, 1969), la concentración y la relación nitrato/amonio (McElhannon y Mills, 1978), influyen en la absorción y utilización del N por las plantas. Los factores internos como patrones dobles o multifásicos de absorción de iones en especies vegetales particulares (Nissen, 1974), la tasa de absorción de otros aniones y cationes (Barker *et al.*, 1965), la síntesis de proteínas (Barker, 1968), la capacidad de la enzima nitrato reductasa, y edad fisiológica de las plantas (McKee, 1962) influyen en la velocidad de absorción y asimilación de N en los cultivos hortícolas. Los cationes, como el calcio, potasio, y amonio, afectan significativamente la absorción de nitratos (Minotti *et al.*, 1968, 1969a,b; Rao y Rains, 1976; Jackson, 1978). El aumento del suministro de calcio o de potasio generalmente acelera la tasa de consumo de nitratos, mientras que los iones de amonio tienen un efecto inhibitor. En general, un medio nutritivo con un pH de 4.5 a 6.0 se considera óptimo para la absorción de NO₃⁻, mientras que un pH de 6.0 a 7.0 se considera el óptimo para el NH₄⁺ (Hageman, 1992).

Se ha demostrado que un elevado aporte de NH₄⁺ al medio de absorción perjudica el crecimiento y producción en comparación con plantas que han sido fertilizadas con NO₃⁻ (Harada *et al.*, 1968; Wilcox *et al.*, 1985; Cramer y Lewis, 1993). El efecto de la forma de N en el crecimiento vegetal y fotosíntesis se ha investigado en numerosos estudios (Huppe y Turpin, 1994; Wiesler,

1997; Gerendás *et al.*, 1997). Muchas especies de plantas muestran depresiones en el crecimiento cuando el amonio se suministra como la única forma de N (Feil, 1994; Raab y Terry, 1994; Claussen y Lenz, 1999). La nutrición con sólo amonio tiene un efecto negativo en el área foliar, la tasa de crecimiento relativo, y el rendimiento en materia seca (Errebhi y Wilcox, 1990; Raab y Terry, 1994).

La fuente más común de N para la producción de cultivos en sustratos (hidropónica) es el nitrato. Los NO_3^- promoverán el crecimiento de las plantas y generalmente se considera que son preferidos en comparación con el ion NH_4^+ (Hewitt, 1966; Hartman *et al.*, 1986; Heuer, 1991).

Con el fin de ser incorporado en aminoácidos, ácidos nucleicos y otros compuestos, la forma aniónica, NO_3^- , debe ser reducida a NH_4^+ (proceso dependiente de energía). El requerimiento de energía para la asimilación de NO_3^- es de 20-21 moles de ATP mol^{-1} , mientras que la asimilación de NH_4^+ requiere sólo 5 moles de ATP mol^{-1} (Salsac *et al.*, 1987; Raven, 1985).

La asimilación de amonio en las raíces causa una gran demanda de esqueletos de carbono que se originan en el ciclo del ácido tricarboxílico en los brotes. El nitrógeno asimilado es transportado en el xilema a los brotes en forma de aminoácidos y amidas (Marschner, 1995). Las plantas bajo único suministro de NH_4^+ deben liberar la cantidad apropiada de carbono de las hojas a las raíces para la asimilación de amonio y para controlar su absorción neta (Britto y Kronzucker, 2001). Clarkson y Warner (1979) demostraron que el NH_4^+ se absorbe más fácilmente que los iones NO_3^- cuando se suministran a la misma concentración. Se ha sugerido que cuando el amonio es suministrado a las plantas, en comparación con el nitrato, se ahorraría fotoenergía; 10 ATP mol^{-1} N (Salsac *et al.*, 1987). El costo total para la absorción, transporte, la reducción y asimilación del NH_4^+ es casi 9.45 moles de fotones mol^{-1} N asimilado y transportado (Raven, 1985).

Los iones de amonio son fácilmente absorbidos por las raíces de la planta, pero no deben ser absorbidos más rápidamente de lo que pueden ser utilizados en la célula, de lo contrario, se producen reacciones tóxicas (Maynard *et al.*, 1966; Maynard y Barker, 1969 y Ajayi *et al.*, 1970). A fin de que los iones de amonio exhiban su efecto inhibitorio sobre el consumo de nitratos por las plantas, deben estar presentes de forma continua, el tratamiento previo de las raíces con iones de amonio no inhibe la posterior absorción de nitrato (Minotti *et al.*, 1969a; Jackson *et al.*, 1972). El consumo de amonio por las plantas se debe regular cuidadosamente, el rango de tolerancia de las plantas al N-NH_4^+ es bastante estrecho y es dependiente de la presencia de nitrato en el medio (Mills *et al.*, 1976a,b; McElhannon y Mills, 1977). El factor más importante que afecta la absorción de iones de amonio por plantas es la concentración de los iones en el medio de las raíces (Munn y Jackson, 1978). Teóricamente, en N-NH_4^+ debe ser la forma preferida (Reisenauer, 1978). La respuesta de las plantas al NH_4^+ varía con la especie, la temperatura, la intensidad de la luz, el pH y las concentraciones de nutrientes en el medio de crecimiento (Edwards y Horton, 1982). Existen variaciones sustanciales en la tolerancia a NH_4^+ entre especies estrechamente relacionadas (Monselise y Kost, 1993), dentro de especies (Feng y Barker, 1992, Magalhaes *et al.*, 1995, Schortemeyer *et al.*, 1997), y en diferentes etapas de desarrollo (Vollbrecht *et al.*, 1989). Las plantas domesticadas más sensibles a la toxicidad por NH_4^+ incluyen tomates (Claasen y Wilcox, 1974, Magalhaes y Huber, 1989, Feng y Barker, 1992) y papa (Cao y Tibbits, 1998).

2.4. Rendimiento de Cultivos y *Physalis peruviana* L.

La tasa de crecimiento de las plantas depende a menudo del suministro de nitrógeno (Ingestad, 1979; Ingestad y Kahr, 1985; Mattson *et al.*, 1991). Epstein (1972), Mengel y Kirkby (1987), Jingquan y Dewei (1988), Hageman (1992), Maldonado (1993) y Salisbury y Ross (1994) han documentado ampliamente que las plantas pueden utilizar NO_3^- y NH_4^+ como fuente de

N. Es bien conocido que las plantas pueden absorber NH_4^+ y NO_3^- , pero aún hay desacuerdo sobre el cual forma N es la preferida (Bloom, 1997). Los fertilizantes minerales y orgánicos contienen diferentes formas y cantidad de N, que pueden afectar los rendimientos y la calidad del producto (Heeb *et al.*, 2005). Una amplia discrepancia se ha encontrado entre los datos de rendimiento de los cultivos hidropónicos (Heberer y Below, 1989) y en el suelo (Hagin *et al.*, 1990) cuando el NH_4^+ sustituye parte de los NO_3^- . Mientras que en los cultivos hidropónicos el aumento de rendimiento es por lo general 40-70%, en el suelo es sólo alrededor de 11%. Esta diferencia en la respuesta ha sido explicada por la absorción y el metabolismo del NO_3^- y NH_4^+ ; que requieren diferentes equilibrios iónicos en los cuales los cationes y aniones orgánicos e inorgánicos tienen parte. La forma iónica además determina la productividad de los cultivos (Bloom, 1988; Marschner, 1995; Srivastava y Singh, 1999).

Con NH_4^+ como la única fuente de nitrógeno, varias especies muestran bajos rendimientos y mueren por completo (Cox y Reisenauer, 1973; McCrimmon *et al.*, 1992). La disminución en rendimiento en especies sensibles a amonio puede variar entre 15 a 60% (Woolhouse y Hardwick, 1966; Chaillou *et al.*, 1986). Se ha demostrado que la mayoría de los cultivos anuales crecen mejor cuando se les suministra mezclas de NH_4^+ y NO_3^- en condiciones controladas (Bock *et al.*, 1991; Goos *et al.*, 1999; Wang y Below, 1996).

El crecimiento de las plantas en un medio con la mitad del N suministrado como nitratos y la otra mitad como amonio es normalmente tan bueno como el que se produce cuando todo el nitrógeno es suministrado en forma de nitrato (Mills *et al.*, 1976a,b; McElhannon y Mills, 1977). Existen informes contradictorios referentes al efecto del aumento de la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva. Se ha demostrado que puede producir un aumento (Wang y Below, 1992) o una disminución (Smith *et al.*, 1990) en la producción de biomasa en función de la proporción $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ y el tipo de planta. La adición de bajos niveles de NH_4^+ en el sistema basado en NO_3^- puede tener efectos

positivos sobre el crecimiento (Gill y Reisenauer, 1993; Pilbeam y Kirkby, 1992) y en el sabor (Siddiqi *et al.*, 2002.). En relación con los efectos de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺, solos o combinados, ha sido documentado que una proporción óptima de NH₄⁺/NO₃⁻ favorece el crecimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jingquan y Dewei, 1988) y rendimiento (Kwak *et al.*, 1989). Sandoval *et al.* (1992), indican en el caso del trigo (*Triticum aestivum* L.), que es posible obtener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea NH₄⁺ en relaciones menores que o iguales a 50% de la cantidad de N que cuando la planta es suministrada exclusivamente con NO₃⁻.

Las semillas de *Physalis peruviana* L. originan plantas en las que sus frutas presentan alta variabilidad. Sandhu *et al.* (1989) mencionan que uchuvas propagadas por semillas varían en crecimiento, vigor, rendimiento y calidad del fruto. Según Angarita y Santana (1997), *Physalis peruviana* L., por ser una planta alógama y de propagación sexual, muestra gran variabilidad fenotípica en la población. Una planta puede producir cerca de 300 frutos, que son bayas de color naranja amarillo, de forma globosa, con un peso entre 4 a 5 g y sabor agridulce (Wu *et al.*, 2005). Tapia y Fries (2007) mencionan que el diámetro del fruto está entre 1,25 a 2,50 cm con un peso entre 4 y 10 g. El tipo de Colombia se caracteriza por frutos pequeños con un peso promedio de 5 g, con el color más intenso y mayor contenido de azúcar en comparación con ecotipos de Kenia y Sudáfrica, estas características lo hacen que sea más aceptable para los mercados (Almanza y Espinosa, 1995; Fischer *et al.*, 2000a). De acuerdo con Rojas *et al.* (2005) la baya de *Physalis peruviana* L. pesa entre 4 y 10 g con cáliz. Ayala *et al.* (2007) mencionan que el peso del fruto con cáscara fue de 3.9 a 4.8 g en Ecotipos Huanuco, Huariaca y Huancayo. Peña *et al.* (2006) establecieron que el número de frutos por planta, la altura total de planta y a la primera bifurcación y el número total de hojas por planta de *Physalis peruviana* L. correlacionaron positivamente con el rendimiento total de fruto.

2.5. Nitratos, Dinámica y Diagnóstico

En vegetales los nitratos están presentes naturalmente y su concentración puede variar significativamente, de 1 a 10,000 mg kg⁻¹ de peso fresco (Haghibhi y Tavassoli, 2001).

La valoración de nitratos (NO₃⁻) interesa en las disciplinas agrícolas y ambientales. La cuantificación de nitratos es utilizada corrientemente para diagnosticar el estado nutricional de las plantas cultivadas. Para la cuantificación de nitratos hay numerosas técnicas y no existe entre los analistas unanimidad en la selección de la más adecuada (Valdés *et al.*, 2004). Entre las técnicas de determinación se destacan la destilación por arrastre con vapor y los métodos potenciométricos, colorimétricos y cromatográficos (Sah, 1994). En el análisis de NO₃⁻ en agua potable las interferencias son ínfimas pero en vegetales y alimentos, en general, son significativas (Sah, 1994).

Entre los métodos más utilizados están los que se basan en electrodos específicos como el Cardy Ion Meters, Horiba (Hochmuth, 1994a; Zhang *et al.*, 1996) y Hach Meters (Vitosh y Silva, 1996); métodos colorimétricos con bandas reactivas específicas como el Merckoquant Nitrate Tests Strips y HACH colorimeter, con y sin reflectometro (Pommerening *et al.*, 1992, Bischoff *et al.*, 1996) y; un método no destructivo que miden el índice de verdor que se relaciona con el contenido de clorofila y de N de las hojas como el Minolta SPAD 502 (Martin, 1995; Echeverría y Studdert, 2001).

Con el objetivo de desarrollar una técnica de diagnóstico del estado nitrogenado, rápida y aplicable *in situ*, en años recientes se ha utilizado el análisis de la concentración del ión nitrato en el jugo peciolar de las plantas, como indicador del estado nitrogenado de los cultivos (Darby *et al.*, 1986; Scaife y Turner, 1987; Justes *et al.*, 1997). Castellanos-Ramos *et al.* (2000) reportaron que el análisis de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP) es una herramienta útil para determinar la cantidad de

nitrógeno en hortalizas. Kubota *et al.* (1997), en un estudio para examinar la precisión del medidor portátil de nitratos, en la determinación del contenido de N-NO₃⁻ en el jugo celular del pecíolo en brócoli, concluyeron que es una técnica útil para estimar el contenido de N. Castro *et al.* (2000b) y Rangel *et al.* (2002), en cultivos de tomate de cáscara y sorgo, concluyeron de manera semejante.

En la mayoría de las plantas sólo una parte del N-nítrico se reduce a amonio en las raíces, mientras que la mayoría se transloca a los brotes para ser asimilado (Oji e Izawa, 1972). Por lo tanto, la asimilación de N inorgánico en las raíces se promueve más a través de la nutrición con amonio que a través de la nutrición con nitratos (Ikeda *et al.*, 1992). Las plantas pueden tolerar niveles muy altos de nitratos en tejido. La concentración de nitratos puede subir en varios puntos porcentuales antes de que la fitotoxicidad sea aparente (Maynard y Barker, 1971). Se ha indicado que una acumulación excesiva de NO₃⁻ podría causar una disminución del crecimiento y desarrollo de las plantas. Andreeva *et al.* (1998) encontraron que aplicaciones elevadas de NO₃⁻ a la solución nutritiva (> 10 mM de N), dieron lugar a un efecto estresante en las plantas, al reducir sustancialmente procesos clave para el desarrollo vegetal, tales como fotosíntesis, síntesis y acumulación de almidón, y asimilación de N, lo que condujo a una importante reducción de la productividad. La absorción de nitrato aumenta bruscamente con el aumento en el abastecimiento externo de nitratos, y cuando el suministro es alto, los nitratos serán absorbidos en exceso sobre la necesidad de las plantas y se acumularán internamente. El suministro externo de nitratos es probablemente el factor más importante que controla la acumulación de nitratos en plantas (Wright y Davidson, 1964; Maynard *et al.*, 1976). El sistema de absorción de nitratos de las raíces es aparentemente inducible, es decir requiere la presencia de nitratos para su activación (Jackson, 1978). El abastecimiento de nitratos tiene gran impacto sobre la concentración de nitrato acumulado, sin embargo la temperatura (Van der Boon *et al.*, 1990) y la intensidad de la luz (Proietti *et al.*, 2004) durante el

crecimiento, más otros factores tales como genotipo, variación diurna, deficiencia de molibdeno, tipo de suelo, sistema de producción y régimen de irrigación pueden contribuir a las concentraciones encontradas en hojas (Parks *et al.*, 2012).

Iversen *et al.* (1985) reportaron que la concentración de nitratos en la base de los tallos de maíz no fue un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo, cuando dicha metodología de diagnóstico se estudió para diferentes condiciones de manejo, sitios y años. Hartz *et al.* (1993) encontraron que la máxima producción de materia seca y rendimiento de chile pimiento con fertirriego se obtuvo manteniendo la concentración del pecíolo de la hoja recientemente madura en $1129.0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$, durante el inicio del desarrollo del fruto (llenado de fruto), pero esta concentración disminuyó posteriormente. De manera distinta a lo señalado por Hartz *et al.* (1993), Hochmuth (1994b) y Maynard *et al.* (2002) publicaron por etapas fenológicas los valores de concentración (mg L^{-1}) de N-NO_3^- en el ECP de chile: botón floral y flores abiertas 1400 a 1600; fruto a medio desarrollo (llenado del fruto) 1200 a 1400; primer cosecha 800 a 1000; segunda cosecha 500 a 800.

He *et al.* (1994) observaron diferencias en la concentración de nitratos en plantas de tomate, al variar las cantidades de nitratos en la solución nutritiva. Estas variaciones se detectaron en el ECP en las etapas vegetativa y al inicio de floración. Mackerron *et al.* (1995), en un estudio para determinar la validez del análisis ECP para la optimización de la nutrición nitrogenada en papa, concluyeron que las concentraciones de nitratos en el jugo celular de pecíolo muestran variabilidad espacial y temporal. En papa las concentraciones de nitratos disminuyeron a medida que el cultivo maduraba (Zhang *et al.*, 1996). En papa los niveles críticos de savia N-NO_3^- disminuyen conforme avanzaba el ciclo. Esto ocurre de igual manera en concentraciones de N-NO_3^- en análisis vegetales expresados en base seca (Gardner y Jones, 1975; Porter y Sisson, 1991; Johnson *et al.*, 1995). En trigo

una alternativa que puede ser utilizada con fines de diagnóstico de requerimiento de N, en estadios avanzados del cultivo, es la determinación de la concentración de nitratos (N-NO₃⁻) en la base de los pseudotallos (Viglezzi *et al.*, 1996; Strada *et al.*, 2000). El análisis del contenido de nitratos tiene las ventajas de requerir menos tiempo y esfuerzo para la obtención de las muestras y de que la planta puede ser un mejor integrador de los factores que determinan la disponibilidad de N en el suelo (Echeverría *et al.*, 2000). Flores *et al.* (2001) encontraron en un estudio con niveles de salinidad (NaCl; 30 y 60 mM) y relaciones nitrato/amonio en tomate que en los tratamientos con amonio (NO₃⁻:NH₄⁺; 12:02 y 10:04), la concentración de Cl⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, K⁺, N total y el P total en las hojas aumentó mientras la concentración de NO₃⁻, Mg²⁺, Ca²⁺ disminuyó. Además la concentración de nitrato en hoja se redujo en gran medida por la salinidad y adición de amonio. Sin embargo, el N total fue disminuido por la salinidad, pero aumentó por NH₄⁺. Kotsiras *et al.* (2002) argumentan que la concentración de NO₃⁻ aumentó significativamente en los diferentes tejidos de los frutos de pepino con el aumento del nivel de concentración de N total y NO₃⁻ en el medio nutriente. Además concluyeron que el contenido de NO₃⁻ se relacionó inversamente con la concentración de NH₄⁺.

Castro *et al.* (2000a) encontraron que el grado de correlación entre el rendimiento del cultivo de *Physalis ixocarpa* Brot. y la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolos y tallo, permite conocer el estado nutricional del cultivo en una etapa fenológica determinada y su relación con el rendimiento. Se observó que en general la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolo en *Physalis ixocarpa* Brot. se incrementó en función de los diferentes grados de disponibilidad de nutrimentos en el medio de crecimiento en el que se desarrolló la planta, así como a través de sus diferentes fases de desarrollo. Brizuela *et al.* (2005) encontraron que la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolo (ECP) varió en forma logarítmica en función de la solución y su ontogenia, en los chiles jalapeños Tula y Grande, pimientos Camelot y Aladin y poblano cv. San Luis. Lo que

explica que las variaciones de nitratos en el ECP en tiempo y el espacio son función de la concentración de NO_3^- . Las concentraciones promedio (mg L^{-1} N-NO_3^-) fueron: 876 en etapa vegetativa-botón; 861 en flor abierta; 1020 en cuajado de fruto; y 1144 en llenado de fruto. Las mayores concentraciones de nitratos en el ECP se tuvieron en la etapa de llenado de fruto. Además encontraron que la concentración de N-NO_3^- en el ECP en Chile varió significativamente durante la fenología del cultivo.

2.6. Nitrógeno Reducido, Dinámica y Diagnóstico

El amonio de las hojas se genera por cuatro procesos: (1) la reducción del nitrato transportado desde las raíces; (2) la transformación de la asparagina en aspartato más amoníaco en las hojas jóvenes; (3) el catabolismo de aminoácidos y la síntesis de lignina en el tejido senescente y (4) la conversión de glicina a serina durante la fotorespiración (Lea *et al.*, 1992; Hodges, 2002).

El resultado de la incorporación de amonio puede ser cuantificado por el análisis de N reducido, el cual es generalmente el producto de la asimilación del N y es formado principalmente por aminoácidos y proteínas. El N total es el resultado de la suma del N reducido y N-NO_3^- y es considerado un parámetro crítico para determinar el estado nutricional de las plantas (Ruíz y Romero, 1999). La mayoría de N-reducido es proteína (75-90%), seguido por los aminoácidos libres (10-15%), N-NH_4^+ (0.4-4%) y otras formas de N orgánico como amidas y bases nitrogenadas (Alcántar y Sandoval, 1999).

La absorción simultánea de NO_3^- y NH_4^+ resulta en una más inmediata disponibilidad de N reducido, el cual es incorporado directamente a diferencia del N-NO_3^- cuyo proceso de reducción tiene requerimientos energéticos tales que podrían actuar como factores limitantes (Cox y Reisenauer, 1973).

Las plantas absorben N del suelo en dos formas inorgánicas: NO_3^- y NH_4^+ (Chiallou *et al.*, 1986), pero la absorción de NO_3^- es el principal factor que determina su posterior asimilación e integración en el metabolismo nitrogenado (Crawford, 1995; Glass y Siddiqi, 1995; Silvasankar y Oaks, 1996; Stitt, 1999). La asimilación de N por las plantas requiere la absorción de NO_3^- , su reducción a NO_2^- , la conversión de NO_2^- a NH_4^+ , y la incorporación de NH_4^+ a compuestos orgánicos (Sivasankar y Oaks, 1996; Stitt, 1999). Los factores que influyen en la regulación de las enzimas responsables de la asimilación del N son: etapa fenológica de la planta (Ireland y Lea, 1999); relación luz/obscuridad (Migge *et al.*, 1996); concentración de sacarosa (Lam *et al.*, 1996; Sánchez *et al.*, 2005); fuente nitrogenada: NO_3^- y NH_4^+ (Ruíz y Romero, 1999); nivel de CO_2 (Edwards y Coruzzi, 1989); temperatura (Woodall *et al.*, 1996); nutrientes (López *et al.*, 2000; Ruíz y Romero, 2002); reguladores del crecimiento (Ruíz *et al.*, 2000); productos de la asimilación de N (Padgett y Leonard, 1996); y variabilidad genética (Ruíz y Romero, 1998). Sánchez *et al.* (2006) encontraron en frijol ejotero que la mayor asimilación del NH_4^+ ocurre en las hojas. Se ha demostrado que varios aminoácidos transportados vía floema pueden reducir la absorción de NO_3^- en trigo (Cooper y Clarkson, 1989) y soja (Muller y Touraine, 1992). En el cultivo de papa la composición de aminoácidos proteicos no fue muy diferente entre el tratamiento de N- NH_4^+ y el tratamiento de N- NO_3^- (Mitsuru *et al.*, 1995). Tanto el NH_4^+ originado en las plantas por la reducción de NO_3^- como el suministro vía fertilización, son incorporados a formas orgánicas, principalmente a través del ciclo GS/GOGAT (Sivasankar y Oaks, 1996; Migge y Becker, 1996).

Es reconocido que las hojas juegan un papel no sólo en el suministro de fotoasimilados, sino también en el metabolismo del N. Oji e Izawa (1974), Oji *et al.* (1976), Oji e Hirata (1976), indican que el arroz prefiere N- NH_4^+ , es capaz de transformar N- NH_4^+ a asparagina, mientras que el pepino que prefiere N- NO_3^- , no puede metabolizar el N- NH_4^+ acumulado en la planta. En el caso de plantas de soja, la mayor parte de los nitratos absorbidos a partir del medio en la

etapa reproductiva se transportan a las hojas y redistribuidos de las hojas a las vainas y semillas, principalmente en la forma de asparagina (Ohyama 1983, 1984; Ohyama y Kawai, 1983). Allen y Smith (1986) al trabajar con *Ricinus communis* reportaron que la concentración de nitrógeno orgánico en la savia en xilema aumentó en más de 3 veces por la aplicación de N-NH₄⁺. Allen y Smith (1986), Causin y Barneix (1993) y Kpodar *et al.* (1993) mencionan que las plantas cultivadas en amonio a menudo presentan una mayor concentración de aminoácidos libres en tejido vegetal que aquellas alimentadas con nitrato. La papa acumula gran cantidad de amidas en los tubérculos (Osaki *et al.*, 1991; Shinano *et al.*, 1991). En plantas de té que fueron alimentadas con ¹⁵N-NO₃⁻ y ¹⁵N-NH₄⁺ durante 48 horas, la cantidad de aminoácidos totales en la savia de xilema aumentó significativamente; las plantas alimentadas con ¹⁵N-NH₄⁺ tuvieron mayor incremento que aquellos con ¹⁵N-NO₃⁻ (Oh *et al.*, 2008).

En algunas especies de la familia Rosaceae ocurre un considerable aumento de algunos aminoácidos y amidas en el torrente savial durante la floración, periodo crítico donde aumentan los requerimientos de N para el desarrollo de tejidos asociados con la producción (Bollard, 1957; Feucht, 1967). Goos *et al.* (1982) reportaron que la concentración de proteína en grano fue un indicador post cosecha efectivo de la suficiencia de N en trigo.

2.7. Nitrógeno Total, Dinámica y Diagnóstico

La asimilación de N y la acumulación en los cultivos representan dos componentes principales del ciclo de N en el agrosistema (Gastal y Lemaire, 2002). Dhugga y Waines (1989) sugirieron que la absorción de N puede ser un factor limitante en la acumulación de N. La cantidad de N absorbido por el cultivo tiene un impacto importante en la tasa global de crecimiento del cultivo. La dependencia del crecimiento de los cultivos sobre el N del cultivo depende de varios procesos: fotosíntesis, distribución de N entre las hojas, la expansión foliar y la posición y los efectos posteriores sobre la intercepción de luz (Novoa y Loomis, 1981, Sinclair y Shiraiwa, 1993).

La dinámica del N total se ajusta al efecto Steenberg que resulta de la dilución de los nutrientes (N) en la planta por el rápido crecimiento vegetal (Brady y Weil, 2008). Esta relación muestra la disminución del contenido en N en la materia seca de la planta a lo largo del ciclo de desarrollo, aún en condiciones de disponibilidad externa de N no limitada, por lo que han sido llamadas relaciones de dilución (Lemaire y Salette, 1984; Lemaire y Gastal, 1997).

Caloin y Yu (1984) mencionan que la disminución del contenido de N en la materia seca, asociada a su movilidad en la planta y a su exportación de los órganos senescentes hacia las regiones en estado de crecimiento activo.

Flores *et al.* (2001) encontraron en un estudio con niveles de salinidad (NaCl; 30 y 60 mM) y relaciones nitrato/amonio en tomate que en los tratamientos con amonio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$; 12:02 y 10:04), la concentración de Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , K^+ , N total y el P total en las hojas aumentó mientras los iones NO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} disminuyeron. Además la concentración de nitrato en hoja se redujo en gran medida por la salinidad y adición de amonio. Rangel *et al.* (2002) encontraron que los NO_3^- en el extracto de jugo celular de sorgo indujeron una mayor concentración de N total en la variedad Pénjamo 96.

En el cultivo de arroz, las concentraciones de N en la mayoría de los tejidos disminuyeron con el avance de la edad. Esto fue debido a que con el aumento de la edad de la planta, más materia seca fue producida que diluyó la concentración de los nutrientes acumulados (Fageria *et al.*, 1997).

Thenabadu (1972) después de experimentos de campo e invernadero para evaluar el status de la nutrición de nitrógeno en arroz indicó que la concentración de N total en hojas es mejor indicador del status de nutrición (N) que las fracciones solubles en agua y las amidas más el N-NH_4^+ .

Rubio *et al.* (2009) mencionan al considerar la variación durante el año, durante el día, dentro del dosel de los árboles y sobre todo con la variabilidad

entre árboles con el mismo tratamiento, que el nitrógeno total fue el mejor indicador en árboles de almendro y nectarina. La sensibilidad y consistencia en los cambios en la concentración foliar del nitrógeno total hacen que sea el indicador más confiable del estado nutricional.

Gastelum (2013) encontró que las concentraciones de N-total en *Physalis peruviana* L. no fueron estadísticamente diferentes en plantas crecidas con solución Steiner al 50, 75 y 100%. Además reportó que en etapas vegetativas (52 días después del rebrote) la concentración óptima de N-total es 4.5% y en etapas reproductivas (149 días después del rebrote) es 4.18%. Estos resultados se obtuvieron en una investigación realizada en hidroponía e invernadero.

2.8. Absorción y Translocación de Nitrógeno y Sistema de Raíces

Muchas investigaciones reportan relaciones entre la absorción de nutrientes y el status de carbohidratos en las raíces (Drew y Saker, 1984).

Se ha sugerido recientemente, el impacto de la proliferación de la raíz sobre la captación de nitrógeno pudiendo ser limitada y más crítica en la competencia planta a planta, que en la absorción de N de una población, tales como un cultivo (Hodge *et al.*, 1999). La raíz juega un papel clave en la asimilación de N-NH₄⁺. Las plantas que acomplejan el N-NH₄⁺ en nitrógeno orgánico en las raíces tienen un rango mayor de tolerancia a la nutrición con amonio en comparación con las que translocan el amonio libremente a los brotes (Barker *et al.*, 1966; Maynard y Barker, 1969).

Debido a la capacidad de asimilar N-NH₄⁺ en amidas en las raíces y el bulbo, la cebolla tiene una notable tolerancia a la nutrición con amonio (Maynard y Barker, 1969). Se supone que cuando se aplica N-NH₄⁺, el N-NH₄⁺ se metaboliza principalmente a amidas, y se almacena en las plantas (en el caso de plantas tolerantes a NH₄⁺), la papa acumula gran cantidad de amidas en los tubérculos (Osaki *et al.*, 1991; Shinano *et al.*, 1991). De acuerdo con Mitsuru *et al.* (1995)

en el cultivo de papa durante la etapa de crecimiento vegetativo, la distribución de $^{15}\text{N-NH}_4^+$ y $^{15}\text{N-NO}_3^-$ entre los órganos fue casi similar, excepto en las raíces, mientras que en la etapa de crecimiento de tubérculo, el $^{15}\text{N-NH}_4^+$ fue distribuido a tallos y raíces, y el $^{15}\text{N-NO}_3^-$ se distribuyó a hojas. Es decir, que el patrón de distribución de N varía con las etapas de crecimiento. Igualmente indican que el metabolismo de aminoácidos es afectado por la absorción de NH_4^+ o NO_3^- . En las raíces de trigo el total de aminoácidos libres disminuye drásticamente después del retiro del N de la solución nutritiva (Rodgers y Barneix, 1989) y aumenta rápidamente después de la adición de nitrato o amonio en plantas deficientes en nitrógeno (Causin y Barneix, 1993). Las plantas bajo único suministro de NH_4^+ deben liberar la cantidad apropiada de C de las hojas a las raíces para la asimilación de amonio y para controlar su absorción neta (Britto y Kronzucker, 2001). Ryota *et al.* (2008) indican que en pepino los nitratos absorbidos a partir del medio son transportados rápidamente a los frutos jóvenes, así como a las hojas y los tallos. El N, una vez asimilado o almacenado en hojas, tallos y raíces se redistribuye gradualmente a los frutos para apoyar su rápido crecimiento.

2.9. Dinámica de las Formas Nitrogenadas

Con base en lo reportado por Resh (1991) y Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica y en la reestructuración del metabolismo primario. Estas fluctuaciones influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa. La absorción y translocación del N suministrado ha sido reportada en varios cultivos (Inanaga, 1996; Oritani, 1984; Osaki *et al.*, 1991; Tatsumi y Kono, 1980; Tatsumi *et al.*, 1993). Grindlay (1997) menciona que de acuerdo a una gran cantidad de datos la distribución de N entre las hojas de un dosel no es uniforme. Gastal y Lemaire (2002) mencionan que la captación y distribución de N también depende de la asignación Carbono entre órganos y la composición de N de estos órganos y que estas alteraciones en la

asignación de C y N entre órganos de la planta tienen implicaciones, junto con la disponibilidad del suelo y la asimilación de carbono, en la absorción de N y la distribución en los cultivos.

Noodén (1983) mencionó que, cuando las plantas no absorben lo suficiente para satisfacer los requerimientos del crecimiento reproductivo, se realiza una movilización desde las partes vegetativas a las reproductivas; añadieron que, durante las etapas reproductivas y las subsecuentes, la tasa de fotosíntesis es alta y los órganos de demanda superan en su metabolismo a los órganos fuentes, observándose una disminución de la actividad de absorción mineral por las raíces. Taylor (1967) establece que finalizado el periodo de crecimiento existiría un aumento de N soluble en las hojas que es retranslocado a través del floema a los tejidos de reserva. Se comprobó que durante el período de senescencia las hojas retranslocan su N principalmente como N soluble siendo posteriormente sintetizado y almacenado, primero en ramas por ser estas los tejidos más cercanos, y luego en las raíces (Godoy y Villalobos, 1979).

Ogata (1963a,b) en una investigación en avena, encontró que el $N-NH_4^+$ fue una buena fuente de N para el crecimiento vegetativo, mientras el $N-NO_3^-$ fue adecuado para el crecimiento reproductivo cuando los carbohidratos fueron construidos activamente, lo que sugiere que el efecto de la fuente de N en el crecimiento de la planta varía dependiendo el estado fisiológico relacionado además con la elaboración de los principales componentes químicos en cada etapa.

Ryota *et al.* (2008) indican que en pepino, los nitratos absorbidos a partir del medio son transportados rápidamente a los frutos jóvenes, así como a las hojas y los tallos. El nitrógeno, una vez asimilado o almacenado en hojas, tallos y raíces se redistribuye gradualmente a los frutos para apoyar su rápido crecimiento.

Rubio *et al.* (2009) mencionan que la variación diurna del N total en las hojas de los árboles de nectarina y almendro es pequeña, comparada con las variaciones de los compuestos nitrogenados solubles, lo que es de esperarse, ya que el nitrato, el amonio y los aminoácidos son compuestos nitrogenados en constante transformación en las hojas, y en cambio la mayor parte del nitrógeno total representa a una fracción más estable como son las proteínas. Además mencionan que la variación diurna de nitrato en árboles de almendro fertilizados siguió una tendencia contraria a la del amonio y del N soluble, indicando que los incrementos de amonio fueron producto de la reducción del nitrato. La variación de los diferentes compuestos nitrogenados entre los árboles que recibieron el mismo tratamiento de fertilización (expresada como error estándar) fue relativamente más alta en los compuestos solubles que en el N total. En orden descendente, la variabilidad entre árboles con el mismo tratamiento fue: nitrato>amonio>nitrógeno soluble>nitrógeno total. Lo anterior indica que los compuestos nitrogenados solubles son indicadores muy sensibles del estado nutricional de los árboles, pero son compuestos en constante transformación, cuyas concentraciones en las hojas pueden ser fácilmente influenciadas por factores relacionados con el riego, la poda, la carga de frutos, el tamaño de los árboles, etc.

2.10. Correlación de las Formas Nitrogenadas y Rendimiento

La idea general de que la disponibilidad de nutrientes en el medio de la raíz determina el crecimiento de las plantas surge de los conceptos generales del factor limitante (Von Liebig, 1841).

Poovarodom y Chatupote (2002) no encontraron relaciones significativas entre el contenido mineral y el rendimiento de *Durio zibethinus* debido a que otros factores limitan el rendimiento incluso cuando la nutrición es óptima.

Waterer (1997) encontró que en papa las concentraciones de $N-NO_3^-$ en savia correlacionan con la aplicación de nitrógeno y el rendimiento potencial.

Suchartgul *et al.* (2012) mencionan que generalmente las concentraciones nutrimentales y el rendimiento de *Hevea brasiliensis* no correlacionaron porque el crecimiento o rendimiento es afectado por múltiples factores. Castro *et al.* (2000a) encontraron que el grado de correlación entre el rendimiento del cultivo de *Physalis ixocarpa* Brot. y la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo y tallo, permite conocer el estado nutrimental del cultivo en una etapa fenológica determinada y su relación con el rendimiento. Asimismo, Rangel *et al.* (2002) concluyen que la concentración en sorgo de nitratos durante el crecimiento no varió el rendimiento de grano.

2.11. Diagnóstico Nutrimental

La concentración de N y su acumulación en tejido vegetal son los dos mayores indicadores para caracterizar el status del N en cultivos (Yao *et al.*, 2007). Se requieren indicadores confiables del status del N en cultivos para mejorar la detección y corrección de deficiencia de N y evaluar la fertilización nitrogenada en la producción sostenible de cultivos (Lemaire *et al.*, 2008).

El control de las condiciones nutrimentales en las que se desarrollan los cultivos es posible mediante el diagnóstico nutrimental. En varios trabajos sobre diagnóstico nutrimental, se ha cuantificado el contenido de N-NO₃⁻, y de otros elementos ya sea en la savia o en tejido seco de hoja o peciolo, para conocer el estado nutrimental del cultivo en diferentes etapas de desarrollo y determinar la relación de este índice con el rendimiento (Fox *et al.*, 1994; Westcott y Knox, 1994; Huett y White, 1992). Esta herramienta permite revisar el estado nutrimental del cultivo en diferentes etapas de su ciclo de desarrollo para poder identificar intervalos de concentración de iones asociados con deficiencia, toxicidad o desbalance nutrimental que afecten el potencial de rendimiento de los cultivos (Cary, 1971; Malavolta y Da Cruz, 1971; Fageria *et al.*, 1991). Castro *et al.* (2000a) con respecto a lo anterior establecen que la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de

los pecíolos y tallo de la planta de tomate de cáscara, es un índice que permite conocer su estado nutrimental en diferentes fases fenológicas de desarrollo.

La búsqueda de un método eficaz para determinar el estado nutricional de la planta ha sido objeto de muchas investigaciones en nutrición vegetal. Los métodos actuales incluyen tanto el suelo como el análisis de los tejidos (Chapman y Brown, 1950). El estado nutricional es una determinante fundamental de la calidad y rendimiento de las plantas y, en consecuencia, los nutrientes son frecuentemente monitoreados en la agricultura, la silvicultura y en prácticas hortícolas con el fin de identificar y corregir deficiencias y excesos (Haase y Rose, 1995).

En el diagnóstico del estado nutrimental, el análisis de los tejidos de planta se ha usado porque la composición de la planta es un indicador más sensible de la respuesta de la planta que el rendimiento, pero al mismo tiempo es mucho más difícil de interpretar (Melsted *et al.*, 1969). El diagnóstico del estado nutricional de la planta se basa en primer lugar en la interpretación de las concentraciones de un solo nutriente (Bates, 1971) y más tarde en los índices de dos variables.

Smith (1986) ideó un método y propuso algunas medidas importantes para el desarrollo de estándares de concentración de nutrientes en cultivos. El primer paso consiste en seleccionar una parte de la planta a la muestra, y definir un tiempo de muestreo durante el cual los niveles de nutrientes son más estables. El segundo paso es llevar a cabo un estudio en todo un huerto altamente productivo para definir las concentraciones medias de una serie de nutrientes en el tejido de la muestra definida. El tercer paso es definir una "gama" estándar para cada nutriente que es adecuada para la alta producción, a través de un análisis estadístico (Leece, 1968, 1976). Con respecto a esto Quesnel *et al.* (2006) sugieren que los valores óptimos se pueden determinar a través de otras técnicas como el análisis de regresión de la relación entre el índice y las concentraciones foliares de nutrientes. El nivel crítico, valor de umbral, o rango

de suficiencia de nutrientes es un método de diagnóstico ampliamente utilizado. Fue propuesto por Ulrich y Hills (1967) para evaluar el estado nutricional de la planta por el análisis foliar.

Los métodos usuales de interpretación de análisis químico de hoja presuponen la comparación de la concentración de nutrientes con valores de referencia. Las concentraciones de nutrientes muy por debajo o por encima de los valores de referencia se asocian con la disminución del crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad. Aunque simple en teoría, este procedimiento es de difícil aplicación. En primer lugar, hay una necesidad de definir con precisión, el momento de muestreo, las etapas de maduración de la planta (o periodo de crecimiento) en el campo. Más tarde, el muestreador debe comunicar esta información al analista o persona que se ocupe del diagnóstico, para que las normas apropiadas puedan ser seleccionadas y utilizadas (Mourão, 2004). Wolf (1982) menciona que es importante que la comparación entre los datos de prueba deba realizarse con el mismo tipo de material de la planta, de la misma edad fisiológica y con una posición similar en la planta.

La concentración nutrimental crítica (CNC) es de uso general en la interpretación de los resultados del análisis de plantas y en el diagnóstico de problemas nutricionales. La CNC se encuentra en la parte de la curva donde la concentración de nutrientes cambia de deficiente a suficiente. Por lo tanto, la CNC es el nivel de un nutriente por debajo del cual el rendimiento del cultivo, la calidad o el rendimiento no es satisfactorio (Kelling *et al.*, 2000; Tisdale *et al.*, 2002; Brady y Weil, 2008; Havlin *et al.*, 2004; Rashid, 2005).

Este intervalo de concentración se encuentra dentro de la zona de transición, en un rango de concentración en el que se produce de un 0 a 10% de reducción en el rendimiento, con reducción del 10% el punto se conoce como valor crítico del elemento (Havlin *et al.*, 2004). Es un concepto desarrollado por Okhi (1987), el nivel crítico del nutriente es el nivel de concentración de nutrientes al que se produce una reducción del 10% en el rendimiento; este

nivel también se define como nivel crítico de deficiencia (CDL). Del mismo modo, el nivel crítico de toxicidad (CTL) es el nivel de concentración en la que se produce toxicidad.

En el caso del diagnóstico nutrimental en tejido foliar los datos obtenidos pueden enmascarar algún problema nutrimental, debido a que puede medirse la cantidad acumulada de ese nutriente y no la cantidad que está fluyendo a través de los sistemas de conducción (Castro *et al.*, 2000a).

Los análisis de tejido vegetal se han utilizado con éxito para determinar el estado del N en varios cultivos de cereales (Baethgen y Alley, 1989; Blackmer y Schepers, 1994; Donohue y Brann, 1984; Flowers *et al.*, 2003; Follett *et al.*, 1992; Roth *et al.*, 1989; Smeal y Zhang, 1994).

En diversas especies perennes se han empleado como indicadores del estado nutrimental del N ciertos compuestos nitrogenados de las hojas, como aminoácidos, nitrato, nitrógeno total y nitrógeno soluble (NS) (Taylor y Van den Ende, 1969; Prasad y Ravenwood, 1986; Balsberg, 1992; Gebler y Rennenberg, 2000; Fotelli *et al.*, 2002).

2.12. Análisis de Tejido Vegetal

El uso de análisis de plantas como herramienta de diagnóstico tiene una historia que se remonta a los estudios de contenido de cenizas de plantas a principios de 1800. Mientras se trabajaba en la composición de las cenizas de la planta, los investigadores reconocieron las relaciones existentes entre el rendimiento y las concentraciones de nutrientes en los tejidos vegetales (Macy, 1936). Las bases fisiológicas del análisis de tejido vegetal se encuentran en las relaciones cuantitativas entre los nutrientes absorbidos y el crecimiento en su más amplio sentido (Lundegardh, 1954).

El análisis de la planta se lleva a cabo como una serie de pasos que incluyen la toma de muestras y preparación de la muestra seguida de análisis de

laboratorio y la interpretación de los datos analíticos. Las especies de plantas, la edad de la planta, parte de planta, tiempo de muestreo y los fertilizantes aplicados son todas las variables que afectan a la interpretación de los datos analíticos, el cuidado en el muestreo es muy importante (Jones *et al.*, 1991). El análisis de la planta como una técnica de diagnóstico, tiene una historia considerable de aplicación. Se ha utilizado para determinar junto con el análisis de suelo el estado de nutrientes en los cultivos para la prescripción de las necesidades de fertilizantes (Jones *et al.*, 1991; Havlin *et al.*, 2004).

La absorción de nutrientes en las plantas se mide principalmente por el análisis de tejidos vegetal que consisten en la determinación de la concentración elemental en muestras de partes particulares o porciones de un cultivo muestreado en determinados momentos o etapas de desarrollo morfológico (Fageria, 2003). La concentración de un nutrimento en el tejido vegetal es un valor integral que representa el efecto de todos los factores del crecimiento e incluso de la disponibilidad de los nutrimentos (Munson y Nelson, 1990). Las concentraciones de nutrientes son influenciados por edad de la planta, la parte de planta analizada, cultivar, agua y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Smith, 1986). Entre los diversos tejidos para considerarse con fines de diagnóstico nutricional, las hojas constituyen el principal material vegetal de muestreo (Chapman y Brown, 1950). Wolf (1982) indica que las hojas son más útiles para propósitos de diagnóstico debido a su marcada variación en la composición con diferentes niveles de fertilidad. La hoja más joven completamente madura es una parte de la planta en crecimiento activo y es una excelente opción para el análisis de nutrientes de muchos cultivos (Geraldson *et al.*, 1973, Wolf, 1982). Por regla general, el tejido juvenil es mayor en N, P y K, pero más baja en Ca y Mg que el tejido mayor (Wolf, 1982). El muestreo adecuado de plantas, manejo y análisis de la muestra junto con un amplio conocimiento de la historia de cultivo, técnicas de muestreo, datos de análisis de suelo, influencias ambientales, y las

concentraciones de nutrientes favorecen el diagnóstico eficiente e interpretación del sistema (Memon *et al.*, 2005).

Krantz *et al.* (1948) dio objetivos principales para la utilización de un resultado de análisis vegetal. Ayuda a determinar el suministro de nutrientes del suelo, ayuda a determinar el efecto de tratamientos en el suministro de nutrientes a la planta, estudio de la relación entre el estado nutricional de la planta y el rendimiento de cultivos como ayuda para la predicción de las necesidades de fertilizantes.

El análisis de las hojas puede ser una herramienta muy útil para el diagnóstico nutricional de la planta, ya que los procedimientos adecuados estén disponibles para el análisis de datos. Debido a la naturaleza dinámica de la composición del tejido de la hoja, influida por la edad de la hoja, etapa de maduración, y las interacciones que implican la absorción de nutrientes y la translocación, el diagnóstico de tejido puede ser una práctica de difícil comprensión y utilización (Walworth y Sumner, 1987). Se han propuesto y utilizado varios métodos para el diagnóstico nutricional utilizando el análisis de tejido de la hoja, incluyendo el valor crítico (CV), el rango de suficiencia (SRA), y el sistema de diagnóstico y recomendación integrado (DRIS).

La comparación de los datos de prueba es útil sólo si los datos de prueba se compararon con las normas de tejido de la misma edad fisiológica. El muestreo en una etapa particular de desarrollo ayuda a asegurar tejido similar (Wolf, 1982). Para el análisis vegetal, una parte específica de la planta en una etapa de crecimiento particular debe ser muestreada para que la comparación del resultado del ensayo con valores críticos o estándar establecidos o rangos de suficiencia sea útil al interpretar los resultados analíticos (Rashid, 2005).

2.13. Conclusiones de la Revisión de Literatura

El cultivo de *Physalis peruviana* L. es de importancia reciente en México debido a su potencial de introducción como especie cultivada y por sus amplias propiedades que le permiten aceptarse en mercados de exportación.

La investigación en México para *Physalis peruviana* L. con relación a su manejo y diagnóstico nutricional es escasa y por tanto es necesario realizar investigaciones que amplíen el conocimiento que sustente y mejore la producción de este cultivo.

Los métodos más utilizados en diagnóstico del estado nutricional del N en cultivos son: la medición de N-total y N-NO₃⁻, sin embargo su idoneidad como herramienta de diagnóstico nutrimental es muy dependiente.

En cultivos como arroz, almendro, nectarino las mediciones y evaluaciones de N-total representan la forma nitrogenada más consistente y útil en el diagnóstico nutrimental. En otras especies, como tomate de cáscara, sorgo y chile la determinación y evaluación de N-NO₃⁻ es la medición más utilizada que refleja favorablemente el estado nutricional del N en diferentes estados fenológicos.

III. OBJETIVOS

3.1. General

Evaluar e identificar los compuestos nitrogenados transportados en diferentes estados de crecimiento en *Physalis peruviana* L. como respuesta a la aplicación de nitrato y amonio en la solución nutritiva.

3.2. Particulares

Evaluar la concentración de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en *Physalis peruviana* L. para su uso en el diagnóstico nutrimental.

Estudiar la respuesta del cultivo de *Physalis peruviana* L. al nitrógeno en plantas provenientes de semilla y de poda.

Identificar la principal forma nitrogenada en la translocación del nitrógeno.

IV. HIPÓTESIS

4.1. General

El cultivo de *Physalis peruviana* L. presenta diferentes concentraciones en el tejido vegetal de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido como respuesta a la aplicación de nitrato y amonio en la solución nutritiva.

4.2. Particulares

La concentración de N-total es un indicador más consistente del estado del N en el cultivo de *Physalis peruviana* L. en comparación con el N-NO₃⁻ y el N-reducido.

La respuesta a la aplicación de nitrógeno en plantas de *Physalis peruviana* L. provenientes de semilla y de poda es diferente.

Las principales formas nitrogenadas translocadas son el N-reducido y la fracción proteica del N-total.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del Experimento

La investigación se inició el 15 de julio del 2012. Se estableció en un invernadero del área de Nutrición Vegetal en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 36.5 de la carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México a 19° 27' de latitud norte y a 2240 m de altitud.

5.2. Características del Material Vegetal

Considerando que el cultivo de *Physalis peruviana* L. es una bianual-perenne se utilizaron plantas, ecotipo Colombia, de dos años 1 mes de edad, las cuales se podaron hasta dejar un tallo de vigor semejante. Las características cualitativas del brote para clasificarlo por vigor fueron: altura, volumen de dosel, e intensidad de color (verde). Se agruparon en tres niveles de vigor: alto, medio y bajo.

Adicionalmente se emplearon plantas provenientes de semilla con una edad de 45 días y con una altura de 20 cm al trasplante.

5.3. Insumos de Nutrición Empleados

Se empleó la solución universal de Steiner al 50% considerando, de acuerdo con Gastelum (2013), que con esta concentración de nutrientes el cultivo crece, desarrolla y fructifica adecuadamente. Se ajustó el pH=6.5 mediante el uso de ácido fosfórico.

En el Cuadro 1 se listan las fuentes para el abastecimiento de macronutrientes y se presentan además las cantidades totales de fertilizantes utilizadas para un periodo experimental de 4 meses.

Cuadro 1. Fuentes y cantidad de fertilizantes empleados en la investigación.

Fertilizante	Steiner	Aniones			Cationes				Cantidad Fertilizantes		
	meqL ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺			
		100%	12	1	7	7	9	4	0	1000 L	30 días
T1: 100% NO ₃ ⁻ /0% NH ₄ ⁺	50%	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2	0	PE (1 meq L ⁻¹)	Gramos	
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	4.5	4.5				4.5			118.08	531.36	2125.44
KNO ₃	1.5	1.5			1.5				101.11	151.665	606.66
K ₂ SO ₄	1.5			1.5	1.5				87.14	130.71	522.84
MgSO ₄ .7H ₂ O	2			2			2		123.24	246.48	985.92
KH ₂ PO ₄	0.5		0.5		0.5				136.09	68.045	272.18
Suma meqL ⁻¹	50%	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2	0	Suma	1128.26	4513.04
Suma Cationes y Aniones			10			10					
T2: 75% NO ₃ ⁻ /25% NH ₄ ⁺	50%	4.5	0.5	3.5	3.5	4.5	2	1.5	PE (1 meq L ⁻¹)	Gramos	
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	4.5	4.5				4.5			118.08	531.36	2125.44
K ₂ SO ₄	1.5			3	3				87.14	130.71	522.84
MgSO ₄ .7H ₂ O	2			2			2		123.24	246.48	985.92
Urea	1.5							1.5	30.03	45.045	180.18
KH ₂ PO ₄	0.5		0.5		0.5				136.09	68.045	272.18
Suma meqL ⁻¹	50%	4.5	0.5	5	3.5	4.5	2	1.5	Suma	1021.64	4086.56
Suma Cationes y Aniones			10			11.5					
T3: 50% NO ₃ ⁻ /50% NH ₄ ⁺	50%	3	0.5	3.5	3.5	4.5	2	3	PE (1 meq L ⁻¹)	Gramos	
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	3	3				3			118.08	354.24	1416.96
MgSO ₄ .7H ₂ O	2			2			2		123.24	246.48	985.92
Urea	3							3	30.03	90.09	360.36
KH ₂ PO ₄	0.5		0.5		0.5				136.09	68.045	272.18
K ₂ SO ₄				3	3						
CaSO ₄ . 2 H ₂ O	1.5			1.5		1.5			86.09	129.135	516.54
Suma meqL ⁻¹	50%	3	0.5	6.5	3.5	4.5	2	3	Suma	887.99	3551.96
Suma Cationes y Aniones			10			13					

PE; peso equivalente, meq L⁻¹; miliequivalentes por litro.

Los micronutrientes fueron aplicados con el producto comercial Fermil soluble® en dosis de 20 g P.C. (Producto Comercial) en 1000 litros de agua. La cantidad de micronutrientes aplicados aparece en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aporte de micronutrientes a través de Fermil Soluble®.

Elemento	%	ppm	Cantidad aplicada	ppm aplicadas (1000 L)
Mg	9	90000	20 g	1800
Fe	0.3	3000	20 g	60
Zn	5.4	54000	20 g	1080
Mn	1.7	17000	20 g	340
Cu	0.1	1000	20 g	20
B	1.3	13000	20 g	260
Mo	0.01	100	20 g	2
Co	0.002	20	20 g	0.4

ppm; partes por millón.

5.4. Tratamientos

Los tratamientos empleados para abastecer 6 meqL^{-1} de nitrógeno (solución Steiner 50%) fueron tres. El tratamiento uno (100/0) consistió en el 100% del N en forma nítrica; en el tratamiento dos (75/25) se aplicó 75% del N como nitratos y el restante 25% como amonio; finalmente el tratamiento tres (50/50) consistió en aplicar 50% del N como nitrato y 50% en forma de amonio a la solución nutritiva.

5.5. Diseño Experimental y de Tratamientos

Las plantas sometidas a poda (rebrote) se establecieron bajo el diseño de bloques al azar considerando el “grado de vigor” como factor de confusión. En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la distribución de los tratamientos.

Las plantas provenientes de semilla se establecieron bajo el diseño completamente al azar (Figura 2).

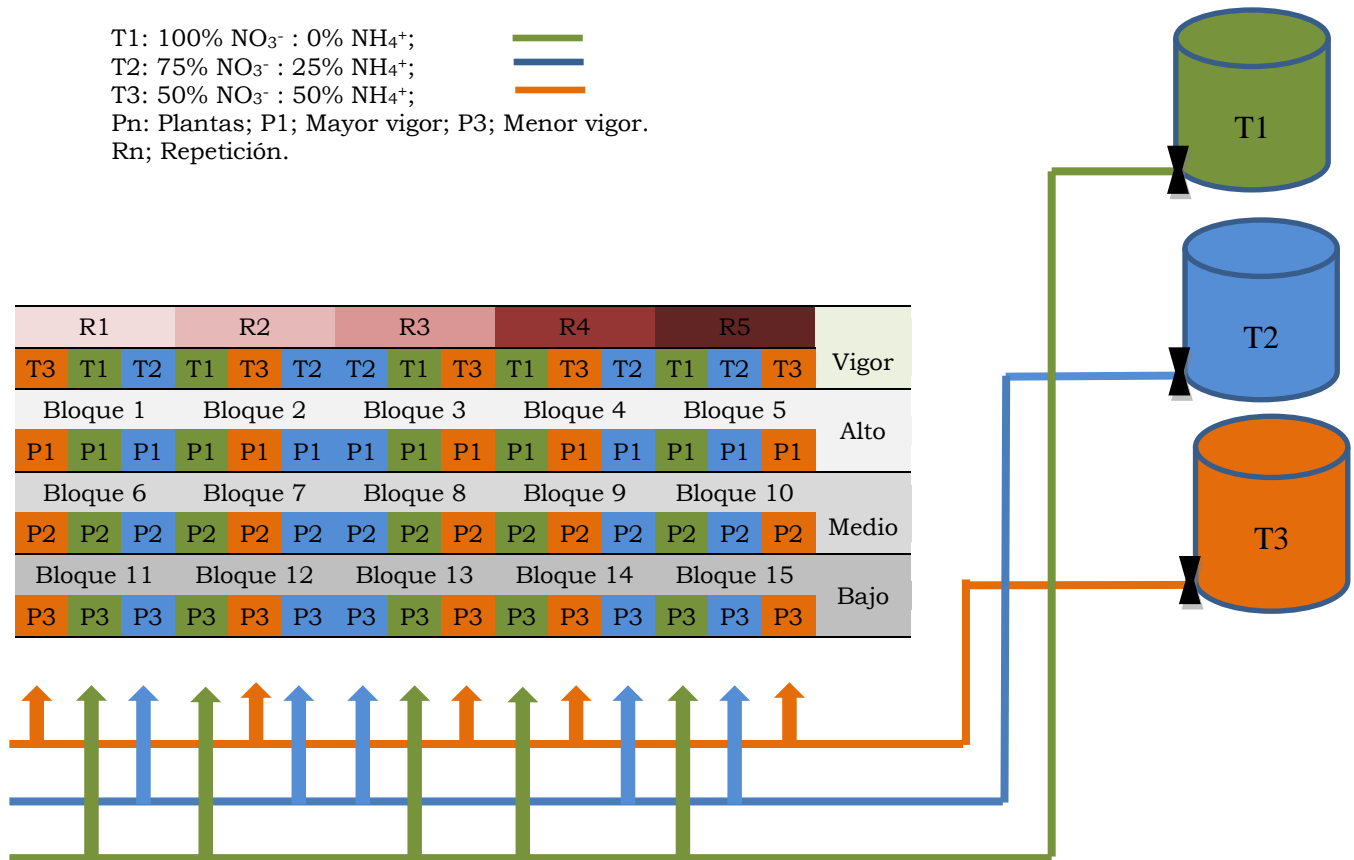


Figura 1. Distribución de los tratamientos en las plantas sometidas a poda.

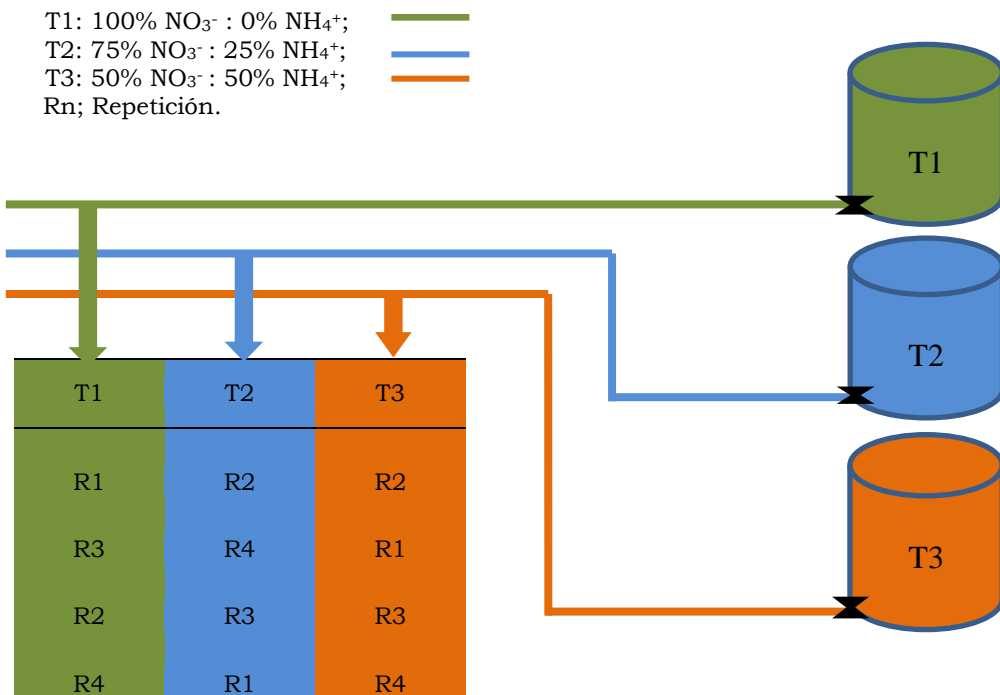


Figura 2. Distribución de los tratamientos en plantas de semilla.

5.6. Muestreos y Variables Evaluadas

Se midió la concentración de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en 4 muestreos en las plantas sometidas a poda y 3 muestreos en las plantas de semilla. Además se contó el número de frutos en 6 fechas; a los 41, 56, 71, 86, 101 y 116 ddt. En las plantas podadas se evaluó el número y peso de frutos cosechados en dos oportunidades de cosecha (102 y 119 ddt), en las plantas de semilla se evaluó en tres fechas (92, 102 y 119 ddt).

Los muestreos de las plantas de rebrote y semilla correspondieron con la etapa de crecimiento vegetativo (39 ddt), floración (64 ddt) y fructificación (87 ddt) maduración (108 ddt).

Se eligió la primera hoja recientemente madura en el primer muestreo. Para el segundo muestreo se tomó igualmente la hoja recientemente madura, pero de ambas ramas (primera bifurcación). En los muestreos tres y cuatro se colectaron hojas de igual edad fisiológica recientemente maduras de cada rama.

Los muestreos se realizaron siempre a las 11:00 horas para posteriormente secar en estufa a 70 °C por 72 horas. Después del secado se molieron las muestras en mortero y se guardó el material en bolsas de plástico para su correspondiente análisis.

Los análisis de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido se realizaron conforme a las metodologías descritas en Alcántar y Sandoval (1999). A continuación se describen los procedimientos:

5.6.1. Nitrógeno total (Método Kjeldahl)

Se pesaron 0.1 g del material vegetal molido y seco en tubos de vidrio, se le agregaron 3 mL de la mezcla de ácidos sulfúrico-salicílico, mezclando de tal forma que todo el material vegetal entrara en contacto íntimo con los ácidos.

Posteriormente se adicionó aproximadamente 0.2 g de la mezcla catalizadora (sulfato cobre, sulfato de sodio más selenio metálico), se mezcló nuevamente y se colocó en la plancha de arena para su digestión a una temperatura no mayor de 360 °C. Después de que la solución tomó una coloración verde clara (acuoso) se continuó calentando aproximadamente una hora más.

Cuando la digestión finalizó, se dejó enfriar y agregó 10 mL de agua destilada, después se transfirió cuantitativamente al equipo de destilación, se adicionaron 10 mL de NaOH al 50% e inició el calentamiento. El destilado se colectó en 20 mL de solución de ácido bórico 4% más 0.2 mL del indicador (verde de bromocresol-rojo de metilo), hasta que se obtuvo un volumen aproximado de 50 mL. La titulación se llevó a cabo con solución de ácido sulfúrico ± 0.05 N hasta el primer vire de color a levemente rosado. Se utilizaron 3 blancos.

El porcentaje de N en las muestras se determinó según la siguiente fórmula:

$$N (\%) = \frac{(V \text{ muestra} - V \text{ blanco}) N \text{ ácido} * 14}{\text{Muestra} * 10}$$

Donde:

V muestra: volumen de H₂SO₄ para titular la muestra (mL)

V blanco: volumen de H₂SO₄ para titular el blanco (mL)

N: normalidad exacta del ácido H₂SO₄

14: peso mili-equivalente del Nitrógeno (mg)

Muestra: peso de muestra en gramos

10: factor para convertir en porcentaje (1000/100)

5.6.2. Nitratos (Método de Cataldo)

Extracción de nitratos: Se pesaron 0.1 g de material y se suspendieron en 30 mL de agua desionizada. Las suspensiones se incubaron a 45 °C (Single-Wall Transite Oven Blue M[®]) por una hora. Después se procedió a homogeneizar y

centrifugar a 3000 x g durante 15 minutos (Eppendorf centrifuge 5804 R®). Se filtró y el sobranse se utilizó para el análisis.

Determinación: para el desarrollo de color se transfirieron alícuotas de 0.2 mL del extracto en matraces Erlenmeyer de 50 mL, se adicionó 0.8 mL de la mezcla de ácido salicílico-ácido sulfúrico. Al cabo de 20 minutos a temperatura ambiente se agregaron con una pipeta automática, 19 mL de NaOH 2N para aumentar el pH a 12 y se midió la absorbancia a 410 nm en un Espectronic 20+ Milton Roy®. Se preparó una solución patrón de N-NO₃⁻ con KNO₃ con base en la cual se estableció la curva de calibración (Cuadro 3), la cual se preparó a partir de alícuotas de 0.2 mL de cada solución y se continuó con el mismo procedimiento utilizado para las muestras.

Cuadro 3. Curva de calibración para la determinación de N-NO₃.

Alicuota ¹	ppm-N-NO ₃ ⁻	µg/0.2 mL
0	0	0
10	50	10
20	100	20
30	150	30
40	200	40
50	250	50

¹; Alicuota en mL a partir de la solución madre de 500 ppm de N-NO₃.

Debido a que se trabajó con material vegetal seco se hizo un blanco con 0.2 mL de agua destilada y reactivos.

La concentración de N-NO₃⁻ se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$ppm\ N - NO_3^- = \frac{Abs * Vol. Extracción * Vol. Dilución}{Pendiente\ Curva * Peso\ Muestra\ en\ gramos * Alicuota}$$

Donde:

- a) Abs: absorbancia de la muestra
- b) Vol. extracción: 30 mL de agua desionizada

- c) Vol. dilución: 20 mL (0.2 mL alícuota + 0.8 mL mezcla de ácidos + 19 mL NaOH 2N)
- d) Pendiente de la curva: pendiente de la curva de calibración
- e) Peso de la muestra en gramos: 0.1 g
- f) Alícuota: 0.2 mL
- g) Los resultados de todas las muestras se transformaron a porcentaje mediante la siguiente formula: $\% = (\text{ppm}/10,000)$

5.6.3. Nitrógeno reducido (Método de Nessler)

Se pesó 0.1 g de material vegetal seco en tubos de 30 mL, se adicionaron 10 mL de una solución reguladora de fosfato de potasio 0.1 M a pH 7.4 y se agitó 1 hora en vórtex (Barnstead Thermolyne Type 37600 Mixer®), a intervalos de 15 minutos. Después se filtró en frascos de vidrio. Se tomó una alícuota de 0.2 mL y se colocó en matraces Erlenmeyer de 50 mL añadiendo además 6.8 mL de agua destilada y 2 mL de Reactivo de Nessler. Finalmente se agitó y dejó reposar el contenido del matraz durante 10 minutos para leer la absorbancia de la muestras a 420 nm en un Espectronic 20+ Milton Roy®.

La curva de calibración se preparó con una solución estándar de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ a 10 mg N mL⁻¹(Cuadro 4).

Cuadro 4. Curva de calibración para la determinación de N-reducido.

mL de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	mL de agua destilada	mL Reactivo de Nessler	µg N/Tubo
0	7	2	0
0.2	6.8	2	2
0.5	6.5	2	5
1	6	2	10
1.5	5.5	2	15
2	5	2	20
3	4	2	30
4	3	2	40
5	2	2	50

La concentración de N-NH₄⁺ se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{ppm N} - \text{NH}_4^+ = \frac{\text{Abs} * \text{Vol. Extracción} * \text{Vol. Dilución}}{\text{Pendiente Curva} * \text{Peso Muestra en gramos} * \text{Alícuota}}$$

Donde:

- a) Abs: absorbancia de la muestra
- b) Vol. extracción: 10 mL de buffer fosfato de potasio
- c) Vol. dilución: 9 mL (0.2 mL alícuota + 6.8 mL agua destilada + 2 mL de Reactivo de Nessler)
- d) Pendiente de la curva: pendiente de la curva de calibración
- e) Peso de la muestra en gramos: 0.1 g
- f) Alícuota: 0.2 mL

Los resultados de todas las muestras se transformaron a porcentaje mediante la siguiente formula: % = (ppm/10,000).

5.7. Análisis Estadístico

Se hizo el análisis de varianza para las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en cada muestreo y se realizó la comparación de medias de Tukey con nivel de significancia 0.05. Para la variable rendimiento de igual manera se hizo el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey = 0.05). Además se correlacionó cada variable con el rendimiento (número de frutos) en cada muestreo y se realizaron análisis de regresión para estimar cada variable dentro del periodo de estudio del experimento.

5.8. Conducción del Experimento

En el Cuadro 1A del anexo se muestran las actividades principales realizadas durante la etapa experimental.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Plantas Sometidas a Poda

6.1.1. Nitrógeno total

Los muestreos corresponden a las siguientes etapas: vegetativa (39 ddt), floración (64 ddt), fructificación (87 ddt) y maduración (108 ddt).

En ningún tratamiento se obtuvo diferencias estadísticas significativas, durante los 4 periodos de muestreo en la concentración de N-total en el tejido vegetal (Cuadro 5). Esto pudo deberse a que las raíces de las plantas sometidas a poda funcionan como reserva de fuentes nitrogenadas en diferentes grados de asimilación y que induce un estado de regulación a los cambios en la disponibilidad del N en sus dos formas iónicas. Al respecto Drew y Saker (1984) mencionan que muchas investigaciones reportan relaciones entre la absorción de nutrientes y el nivel de carbohidratos en las raíces.

Flores *et al.* (2001) en un estudio con niveles de salinidad y relaciones nitrato/amonio en tomate encontraron que en los tratamientos con amonio, la concentración de N total en las hojas aumentó. Rangel *et al.* (2002) encontraron que al aumentar los NO_3^- en el extracto de jugo celular de sorgo indujeron una mayor concentración de N total en la variedad Pénjamo 96. Los argumentos anteriores indican que la presencia de ambas formas iónicas de N en la solución nutritiva puede generar una mayor absorción y acumulación de N, sin embargo, en la presente investigación la concentración de N-total no cambió al mezclar los iones NO_3^- y NH_4^+ en la solución nutritiva. Al respecto Mills *et al.* (1976a,b) y McElhannon y Mills (1977) mencionan que el crecimiento de las plantas en un medio con la mitad del N suministrado como nitratos y la otra mitad como amonio es normalmente tan bueno como el que se produce cuando todo el N es suministrado en forma de nitrato. En apoyo a lo planteado anteriormente Von Liebig (1841) estableció la relación entre el crecimiento y la disponibilidad de nutrientes.

Adicionalmente, en la etapa vegetativa (39 ddt) la concentración de N-total varió de 4.67% (75/25) a 4.80% (100/0) y en etapas reproductivas (87 ddt) de 3.91% (50/50) a 4.16% (100/0) coincidiendo con los valores de 4.5% en etapa vegetativa y 4.18% en etapa reproductiva reportadas por Gastelum (2013).

Cuadro 5. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	39 ddt		64 ddt		87 ddt		108 ddt	
	%							
100/0	4.80	a ^z	4.94	a	4.16	a	3.80	a
75/25	4.67	a	5.08	a	4.04	a	3.34	a
50/50	4.79	a	4.83	a	3.91	a	3.30	a
DMS (0.05)	0.52		0.50		0.62		0.73	
CV (%)	12.20		11.23		16.86		23.25	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

El coeficiente de variación de la variable N-total es una medida de la variabilidad ambiental, genética y la interacción genético ambiental y expresa el grado de variabilidad promedio (%) de lo no controlable en el experimento (Cuadro 5), de esta manera a 64 ddt es menor la variabilidad que a los 39 ddt y esta es menos variable que a los 87 ddt, siendo a 108 ddt la variabilidad más del doble que a 64 ddt.

Se puede concluir igualmente que la alta variabilidad en las concentraciones de N-total en tratamientos y en cada uno de los cuatro muestreos pudo limitar la detección de diferencias estadísticas significativas.

En la dinámica de la variable N-total (Figura 3) para los tres tratamientos en los cuatro muestreos del ddt 39 al ddt 108, se observa un incremento en la concentración del N del ddt 39 al ddt 64, es decir, del crecimiento vegetativo a la floración, para después descender claramente a lo largo de la fructificación y maduración (87 y 108 ddt, respectivamente). Este descenso de la concentración de N-total corresponde al efecto Steenberg, o efecto de dilución como consecuencia del incremento en biomasa (Lemaire y Salette, 1984; Lemaire y Gastal, 1997; Brady y Weil, 2008). Fageria *et al.* (1997) encontraron que en

arroz, las concentraciones de N en la mayoría de los tejidos disminuyeron con el avance de la edad. Caloin y Yu (1984) mencionan que la disminución del contenido de N en la materia seca se asocia a su movilidad en la planta y a su exportación de los órganos senescentes hacia las regiones en estado de crecimiento activo.

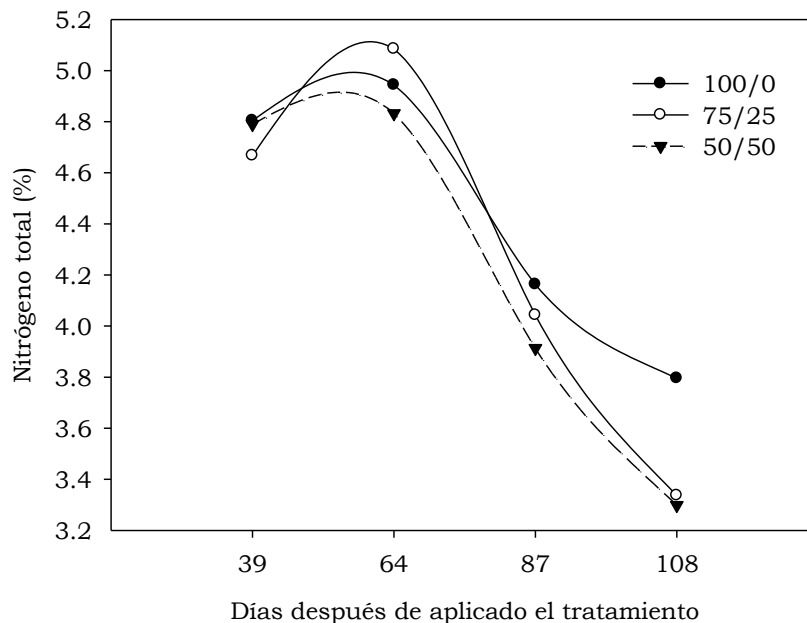


Figura 3. Dinámica del N-total en plantas sometidas a poda.

Los resultados de esta investigación indican que el comportamiento de la variable N-total es muy consistente a lo documentado en varias investigaciones y el comportamiento y concentraciones promedio en los tres tratamientos manifiestan tendencias similares.

6.1.2. Nitrógeno nítrico

La aplicación de los tratamientos no originó cambios significativos en la acumulación de $N-NO_3^-$ para alguno de los periodos de muestreo (Cuadro 6), es decir, los cambios en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ no influyeron en la concentración de esta forma nitrogenada en el tejido foliar. Esta respuesta no corresponde a lo reportado por Wright y Davidson (1964) y Maynard *et al.*

(1976) quienes indican que el suministro externo de nitratos es, probablemente, el factor más importante que controla la acumulación de nitratos en plantas. De igual forma no concuerda con lo planteado por He *et al.* (1994), quienes observaron diferencias en la concentración de nitratos en plantas de tomate, al variar las cantidades de nitratos en la solución nutritiva. Sin embargo se ha documentado que la acumulación de nitratos difiere entre especies y cultivares (Barker *et al.*, 1971, 1974; Maynard y Barker, 1974; Maynard *et al.*, 1976).

Castro *et al.* (2000a) encontraron que la concentración de N-NO_3^- en el extracto celular de peciolo en *Physalis ixocarpa* Brot. aumentó en función de los diferentes grados de disponibilidad de nutrimentos en el medio de crecimiento en el que se desarrolló la planta. Flores *et al.* (2001) encontraron que la concentración de nitrato en hoja de tomate se redujo en gran medida por la adición de amonio a la solución nutritiva. Kotsiras *et al.* (2002) señalan que la concentración de NO_3^- aumentó significativamente en los diferentes tejidos de frutos de pepino con el aumento del nivel de concentración de NO_3^- en el medio nutriente, además concluyeron que el contenido de NO_3^- se relacionó inversamente con la concentración de NH_4^+ . Los datos de la presente investigación y variable en cuestión no corresponden a lo encontrado por los investigadores arriba mencionados, dado que los tratamientos con 75 y 50% de N-NO_3^- (75/25 y 50/50, respectivamente) no manifestaron reducción en la concentración de N-NO_3^- al reducir el aporte de NO_3^- y aumentar el de NH_4^+ . Las concentraciones de los tratamientos con 0 y 50% de N-NO_3^- (100/0 y 50/50, respectivamente) no concuerdan con lo encontrado por Gardner y Jones (1975), Porter y Sisson (1991), Johnson *et al.* (1995) y Zhang *et al.* (1996) quienes reportan que las concentraciones de nitratos en papa disminuyen a medida que el cultivo madura, dado que la dinámica es muy irregular en las distintas etapas fenológicas. Hochmuth (1994b) y Maynard *et al.* (2002) publicaron por etapas fenológicas los valores de concentración de N-NO_3^- (mg L^{-1}) en el ECP de Chile, donde de igual forma la concentración se

reduce desde la floración hasta la cosecha. Solo el tratamiento con 75% N-NO₃⁻ (75/25) respondió de la forma antes mencionada al reducirse la concentración de N-NO₃⁻ conforme avanza la edad de la planta.

Castro *et al.* (2000a) reportan que la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en *Physalis ixocarpa* Brot. se incrementó a través de sus diferentes fases de desarrollo, sin embargo la concentración de nitratos en *Physalis peruviana* L. no sigue el mismo patrón.

Cuadro 6. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-NO₃⁻ en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	39 ddt		64 ddt		87 ddt		108 ddt	
	%							
100/0	0.36	a ^z	0.21	a	0.46	a	0.13	a
75/25	0.36	a	0.31	a	0.23	a	0.16	a
50/50	0.27	a	0.19	a	0.31	a	0.13	a
DMS (0.05)	0.14		0.16		0.30		0.05	
CV (%)	45.28		77.22		101.39		40.29	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

El coeficiente de variación de la variable N-NO₃⁻ es una medida de la variabilidad ambiental, genética y la interacción genético ambiental y expresa el grado de variabilidad promedio (%) de lo no controlable en el experimento (Cuadro 6), de esta manera a 108 ddt es menor la variabilidad que a los 39 ddt y esta es menos variable que a los 64 ddt, existiendo a 87 ddt la mayor variabilidad.

Se puede concluir con bastante confiabilidad que la alta variabilidad en las concentraciones de N-NO₃⁻ en tratamientos y en cada uno de los cuatro muestreos limitó la detección de diferencias estadísticas significativas.

En la Figura 4 se presenta la dinámica de esta forma nitrogenada de acuerdo con la ocurrencia de las etapas fenológicas. La concentración del N-NO₃⁻ disminuye de la etapa vegetativa a la floración, después de la cual se incrementa en la etapa de fructificación y desciende durante la maduración de

los frutos. La dinámica de los nitratos se ajusta parcialmente a lo reportado por Brizuela *et al.* (2005) quienes encontraron que la concentración de N-NO_3^- en el extracto celular de pecíolo (mgL^{-1} N-NO_3^- en ECP) en chiles fue: 876 en etapa vegetativa-botón; 861 en flor abierta; 1020 en cuajado de fruto; y 1144 en llenado de fruto.

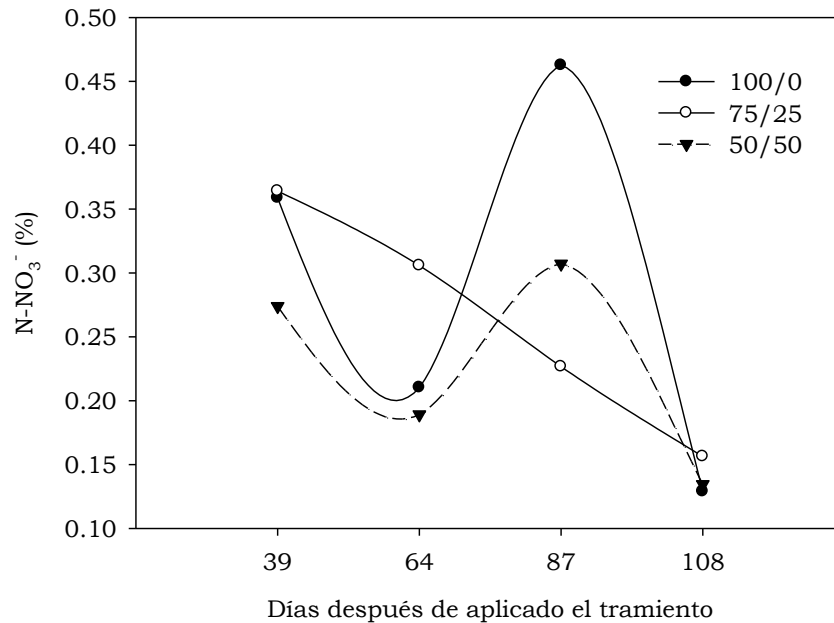


Figura 4. Dinámica del N-NO_3^- en plantas sometidas a poda.

De igual forma el cambio en concentración de N-NO_3^- en las diferentes etapas fenológicas concuerda con lo encontrado por Mackerron *et al.* (1995), quienes en un estudio para determinar la validez del análisis ECP para la optimización de la nutrición nitrogenada en papa, concluyeron que las concentraciones de nitratos en el jugo celular de pecíolo muestran variabilidad espacial y temporal.

Finalmente la alta variabilidad observada en la medición de la concentración de N-NO_3^- pudo causar la inconsistencia en la dinámica de esta forma nitrogenada y la respuesta de las plantas a los tratamientos.

6.1.3. Nitrógeno reducido

Con referencia a la variable N-reducido, Ruíz y Romero (1999) mencionan que el resultado del aporte de amonio a las raíces puede ser cuantificado por el análisis de N reducido en las hojas, el cual es generalmente el producto de la asimilación del N y es conformado principalmente por aminoácidos, amidas y proteínas.

En el Cuadro 7 se muestran los valores promedio de la variable N-reducido en los cuatro muestreos, se observaron diferencias significativas a 39 ddt, donde el tratamiento con 25% N-NH₄⁺ (75/25) (1.59%) fue estadísticamente superior a 0 y 50% de N-NH₄⁺ (100/0 y 50/50, respectivamente) (1.24% y 1.41%, respectivamente), al ddt 108 el tratamiento con 0% N-NH₄⁺ (100/0) (1.36%) fue estadísticamente superior al tratamiento (75/25) con 25% N-NH₄⁺ (1.10%).

Cuadro 7. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-reducido en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	39 ddt		64 ddt		87 ddt		108 ddt	
	%							
100/0	1.24	b ^z	1.37	a	0.97	a	1.36	a
75/25	1.59	a	1.37	a	0.94	a	1.10	b
50/50	1.41	b	1.67	a	0.96	a	1.24	ab
DMS (0.05)	0.18		0.44		0.25		0.20	
CV (%)	14.05		33.34		28.38		18.28	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Se observa que a 39 ddt se acumula más NH₄⁺ al combinar las dos formas iónicas de nitrógeno en la solución nutritiva. Cox y Reisenauer (1973) documentaron que la absorción simultánea de NO₃⁻ y NH₄⁺ resulta en una más inmediata disponibilidad de nitrógeno reducido, el cual es incorporado directamente a diferencia del N-NO₃⁻. Clarkson y Warner (1979) observaron que el NH₄⁺ se absorbe más fácilmente que los iones NO₃⁻ cuando se suministran a la misma concentración.

Además se puede argumentar con bastante confiabilidad que la alta variabilidad en las concentraciones de N-reducido a 64 y 87 ddt limitó la detección de diferencias estadísticas significativas.

La Figura 5 muestra la dinámica del N-reducido opuesta a la dinámica del NO_3^- . En las etapas de floración y maduración se requieren mayores cantidades de productos de la asimilación del nitrógeno. Bollard (1957) y Feucht (1967) mencionan al respecto que en algunas especies de la familia Rosaceae ocurre un considerable aumento de algunos aminoácidos y amidas en el torrente savial durante la floración, periodo crítico donde aumentan los requerimientos de N para el desarrollo de tejidos asociados con la producción.

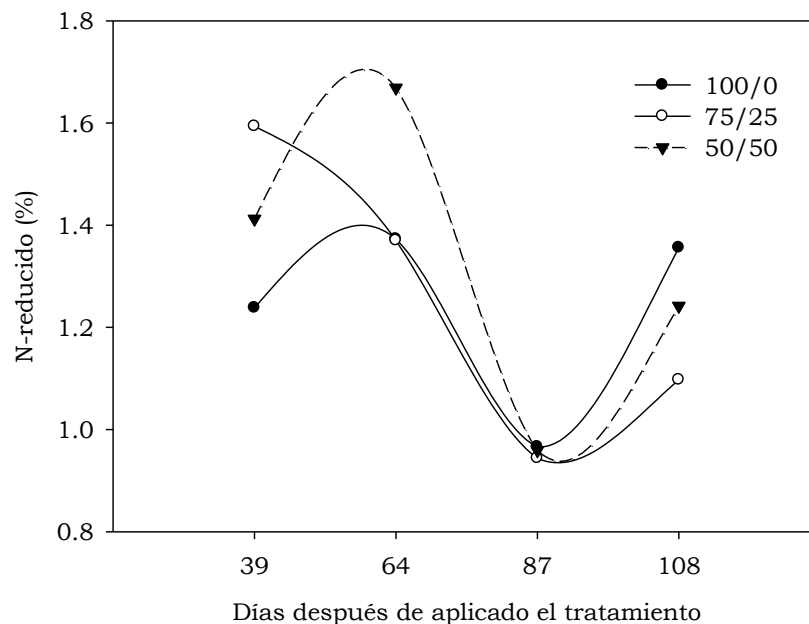


Figura 5. Dinámica del N-reducido en plantas sometidas a poda.

Los picos del N reducido pueden ser consecuencia de la reducción del NO_3^- como lo indican Lea *et al.* (1992) y Hodges (2002) al mencionar que el amonio de las hojas se genera por cuatro procesos: (1) la reducción del nitrato transportado desde las raíces; (2) la transformación de la asparagina en aspartato más amonio en las hojas jóvenes; (3) el catabolismo de

aminoácidos y la síntesis de lignina en el tejido senescente y (4) la conversión de glicina a serina durante la fotorespiración.

Ohyama (1983, 1984) y Ohyama y Kawai (1983) mencionan que en soya, la mayor parte de los nitratos absorbidos a partir del medio en la etapa reproductiva se transportan a las hojas y de ahí se redistribuyen a las vainas y semillas, principalmente en la forma de asparagina. Es decir hay una disminución del N reducido foliar al translocarse a otros órganos en etapas reproductivas como ocurrió en la presente investigación.

La dinámica del N-reducido es igualmente consistente entre los tres tratamientos, sin embargo la presencia o ausencia de diferencias en la concentración de esta forma nitrogenada puede obedecer a la alta variabilidad en la determinación de la concentración foliar.

6.1.4. Rendimiento

En el Cuadro 8 se muestran los valores promedio en número de frutos, peso promedio de fruto con y sin cáscara y rendimiento total (g) por planta para cada tratamiento en el cultivo de *Physalis peruviana* L. El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas significativas debidas a la aplicación de los tratamientos. Esto, posiblemente, producto de la alta variación del rendimiento (CV = 58.9% en número de frutos y 78.83% en rendimiento por planta). Al respecto Sandhu *et al.* (1989) y Angarita y Santana (1997) mencionan que esta planta presenta alta variabilidad en crecimiento, vigor, rendimiento y fenotipo.

El peso del fruto con o sin cáscara no fue afectado por la aplicación de los tratamientos. Wu *et al.* (2005) mencionan que la planta de *Physalis peruviana* L. puede producir hasta 300 frutos, sin embargo, en esta investigación el número de frutos, independientemente de los tratamientos fue, menor. Esta disminución en el número de frutos se debe, posiblemente, a que en las plantas sometidas a poda se dejó sólo un tallo.

Aunque como ya se mencionó, no existieron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento se observa una tendencia a incrementar el número de frutos en los tratamientos que incluyen NH_4^+ . Kwak *et al.* (1989) documentaron que una proporción óptima de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ favorece el rendimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Heberer y Below (1989), Bock *et al.* (1991), Sandoval *et al.* (1992), Wang y Below (1992, 1996) y Goos *et al.* (1999) de igual manera establecieron que la combinación de las dos especies iónicas favorece el rendimiento de los cultivos.

Cuadro 8. Promedio de tratamientos sobre el rendimiento en plantas sometidas a poda.

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Media No. Frutos		Peso Fruto C.C. (g)		Peso Fruto S.C. (g)		Rto. (g)	
100/0	65.67	a ^z	2.84	a	3.12	a	214.67	a
75/25	66.47	a	3.43	a	3.61	a	282.24	a
50/50	90.20	a	3.35	a	2.95	a	318.67	a
DMS(0.05)	39.43		1.32		1.18		193.52	
CV (%)	58.90		45.71		45.55		78.83	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación. C.C.; con cáliz. S.C.; sin cáliz.

El peso promedio de los frutos con cáliz va de 2.84 g (100/0) a 3.43 g (75/25) en concordancia con lo establecido por Ayala *et al.* (2007) quienes encontraron frutos con peso de 3.9 a 4.8 g en los ecotipos Huanuco, Huariaca y Huancayo. Por otra parte Almanza y Espinoza (1995) y Fischer *et al.* (2000a) reportan peso promedio de 5 g en frutos del Ecotipo Colombia. Tapia y Fries (2007) por su parte reportan que el rango de peso de los frutos va de 4 a 10 g.

Se concluye que la obtención de rendimientos mayores en *Physalis peruviana* L. es posible con la aplicación combinada de las dos formas iónicas de nitrógeno, sin embargo tal aumento no es estadísticamente diferente de cuando se aplica sólo la forma aniónica de nitrógeno a la solución nutritiva.

6.1.5. Correlación lineal simple entre las variables

Se muestran los coeficientes de correlación Pearson entre las variables número de frutos (rendimiento) y cada una de las tres variables: N-total, N- NO_3^- y N-reducido (Cuadro 9), en donde ninguna de las tres variables mostró

significancia estadística al correlacionarse con el rendimiento. Esto se explica parcialmente por lo establecido por Suchartgul *et al.* (2012) quienes mencionan que el crecimiento o rendimiento de *Hevea brasiliensis* Muell Arg. es afectado por múltiples factores. Poovarodom y Chatupote (2002) mencionan de igual forma que el rendimiento de *Durio zibethinus* es afectado por otros factores aun en condiciones nutrimentales óptimas y por tanto no se encuentran relaciones significativas entre el contenido mineral y el rendimiento.

Cuadro 9. Correlación entre el número de frutos vs N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Variable	39 ddt		64 ddt		87 ddt		108 ddt	
100/0	N-total	-0.273 (0.324)	ns	0.125 (0.656)	ns	-0.324 (0.237)	ns	-0.102 (0.716)	ns
	N-NO ₃ ⁻	0.087 (0.756)	ns	-0.241 (0.386)	ns	-0.202 (0.469)	ns	-0.250 (0.368)	ns
	N-reducido	-0.176 (0.528)	ns	-0.018 (0.948)	ns	0.037 (0.893)	ns	-0.196 (0.483)	ns
75/25	N-total	0.141 (0.613)	ns	0.016 (0.953)	ns	-0.486 (0.066)	ns	0.122 (0.664)	ns
	N-NO ₃ ⁻	-0.246 (0.375)	ns	-0.159 (0.571)	ns	0.219 (0.432)	ns	0.105 (0.708)	ns
	N-reducido	0.017 (0.949)	ns	-0.082 (0.770)	ns	0.141 (0.615)	ns	0.353 (0.196)	ns
50/50	N-total	0.403 (0.135)	ns	-0.118 (0.674)	ns	-0.332 (0.225)	ns	0.195 (0.484)	ns
	N-NO ₃ ⁻	-0.253 (0.361)	ns	0.146 (0.602)	ns	0.050 (0.858)	ns	0.095 (0.734)	ns
	N-reducido	-0.086 (0.758)	ns	0.202 (0.470)	ns	-0.239 (0.389)	ns	0.300 (0.277)	ns

ddt; días después de aplicado el tratamiento, ns; no significativo. Para probar Ho: $\rho=0$ vs Ha: $\rho\neq 0$.

Waterer (1997), Rangel *et al.* (2002) y Castro *et al.* (2000a) encontraron que las concentraciones de N-NO₃⁻ en savia o extracto celular de pecíolos y tallos correlacionan con el rendimiento en papa, sorgo y *Physalis ixocarpa* Brot., respectivamente. Sin embargo, la débil o nula relación entre las concentraciones foliares de las formas nitrogenadas y el rendimiento en *Physalis peruviana* L. puede deberse a su alta variabilidad en crecimiento, vigor, rendimiento (Sandhu *et al.*, 1989) y fenotipo (Angarita y Santana, 1997)

que causan variación en la absorción y translocación de las formas nitrogenadas con respecto a especies con mayor grado de cultivo (domesticación).

El alto grado de variación no controlable en el experimento (CV) en las variables rendimiento, sea este medido como número de frutos o rendimiento por planta y las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido limita la manifestación de una correlación contundentemente.

6.1.6. Coeficiente de variación en las etapas fenológicas

En el Cuadro 10 se muestra la variación de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en cada momento de muestreo y promedio del experimento. Se observa, en promedio, que la variable N-total es la más consistente (CV = 15.89%), seguido de la variable N-reducido (CV = 23.51%), siendo la más variable el N-NO₃⁻ (CV = 66.05%). En los muestreos a 39, 64 y 87 ddt la variable N-total fue la menos variable seguida de la variable N-reducido y el N-NO₃⁻. Sin embargo a 108 ddt la variable N-reducido es la de menor variación seguida de la variable N-total y el N-NO₃⁻.

Cuadro 10. Comportamiento de las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda respecto a su variabilidad promedio.

Variable	Coeficiente de variación (%)				Promedio
	39 ddt	64 ddt	87 ddt	108 ddt	
N-total	12.20	11.23	16.86	23.25	15.89
N-NO ₃ ⁻	45.28	77.22	101.39	40.29	66.05
N-reducido	14.05	33.34	28.38	18.28	23.51

ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Si se realiza una comparación entre el CV de todas las variables y promedio por cada muestreo y se analiza el grado de variación de una variable respecto de otra se obtendría que la variable N-NO₃⁻ es la más variable respecto del N-reducido y N-total. Así por ejemplo, a 39 ddt el N-NO₃⁻ es 3.7 veces más variable contra el N-total en el mismo muestreo “[$(45.28 - 12.20)/12.20$] = 2.71”.

Thenabadu (1972), después de varios experimentos en campo e invernadero para evaluar el status de la nutrición de N en arroz, reporta que la concentración de N total en hojas es mejor indicador del status del N que las fracciones solubles en agua y que las amidas más el N-NH₄⁺. Rubio *et al.* (2009) al trabajar con árboles de almendro y nectarina encontraron que el N total es menos variable que el nitrato, amonio y N soluble argumentando que los compuestos nitrogenados solubles son indicadores muy sensibles del estado nutricional, pero son compuestos en constante transformación. La variable N-reducido constituida principalmente por proteína soluble (75-90%), aminoácidos libres (10-15%), N-NH₄⁺ (0.4-4%) y otras formas de N orgánico como amidas y bases nitrogenadas (Alcántar y Sandoval, 1999) se comporta con variabilidad y consistencia intermedia contra N-total y N-NO₃⁻ posibilitando su uso como herramienta de diagnóstico del estado del nitrógeno en el cultivo de *Physalis peruviana* L. Goos *et al.* (1982) reportaron que la concentración de proteína en grano fue un indicador post cosecha efectivo de la suficiencia de N en trigo.

La variable N-NO₃⁻ presentó la mayor variación e inconsistencia limitando su uso como herramienta de diagnóstico nutrimental, en *Physalis peruviana* L., al contrario de lo establecido por Castellanos-Ramos *et al.* (2000), Castro *et al.* (2000b) y Rangel *et al.* (2002), en hortalizas, tomate de cáscara y sorgo, respectivamente.

Se concluye que la variable N-total dada su menor variabilidad, su mayor consistencia y predictibilidad (Cuadro 6A) es la medición con mayor utilidad como herramienta de diagnóstico nutrimental y que la medición de N-NO₃⁻ es muy inconsistente y variable al inducir cambios en la disponibilidad de las dos formas iónicas de nitrógeno limitando su uso en diagnóstico nutrimental en *Physalis peruviana* L. La variable N-reducido presentó utilidad intermedia.

6.2. Plantas de Semilla

6.2.1. Nitrógeno total

Los muestreos en las plantas correspondieron a la etapa de floración (64 ddt), fructificación (87 ddt) y maduración (108 ddt).

En el Cuadro 11 se presentan las concentraciones de N-total en tejido vegetal de *Physalis peruviana* L. en donde hubo diferencias estadísticas significativas a 87 y 108 ddt. En ambos muestreos el tratamiento 100/0 provocó una mayor absorción y acumulación de N que en el tratamiento 75/25. Lo anterior hace suponer que la concentración en 50% N-NO₃⁻ y 50% N-NH₄⁺ promueve una absorción y acumulación de N-total igual que cuando se aplica el 100% del N como N-NO₃⁻. Al respecto Mills *et al.* (1976a,b) y McElhannon y Mills (1977) mencionan que el crecimiento de las plantas en un medio con la mitad del N suministrado como nitratos y la otra mitad como amonio es normalmente tan bueno como el que se produce cuando todo el N es suministrado en forma de nitrato. Lo anterior basado en la idea general planteada por Von Liebig (1841) de que la disponibilidad de nutrientes (y por ende su posible absorción) determina el crecimiento de las plantas.

Cuadro 11. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	64 ddt		87 ddt		108 ddt	
100/0	5.18	a ^z	4.33	a	4.08	a
75/25	4.90	a	3.55	b	3.54	b
50/50	4.80	a	4.11	ab	3.76	ab
DMS (0.05)	0.54		0.73		0.32	
CV (%)	5.47		9.22		4.30	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

El coeficiente de variación de la variable N-total expresa el grado de variabilidad promedio (%) de lo no controlable en el experimento (Cuadro 11), de esta manera a 108 ddt es menor la variabilidad que a los 64 ddt y esta es menor que a los 87 ddt. Es viable mencionar que además de los posibles

efectos del sistema de raíces en plantas sometidas a poda de *Physalis peruviana* L. al limitar la detección de diferencias significativas en la concentración de N-total, la menor variación en la medición de esta forma nitrogenada en plantas de semilla hace detectables diferencias estadísticas significativas.

En la Figura 6 se presenta la dinámica de la variable N-total para los tres tratamientos dentro del periodo de muestreo, del día 64 después de aplicados los tratamientos hasta el día 108, es decir, desde la floración hasta la fructificación y maduración de los frutos. En la figura se aprecia una disminución exponencial de la concentración foliar de N-total que corresponde al efecto Steenberg, o efecto de dilución, como consecuencia del incremento en acumulación de biomasa (Lemaire y Salette, 1984; Lemaire y Gastal, 1997; Brady y Weil, 2008).

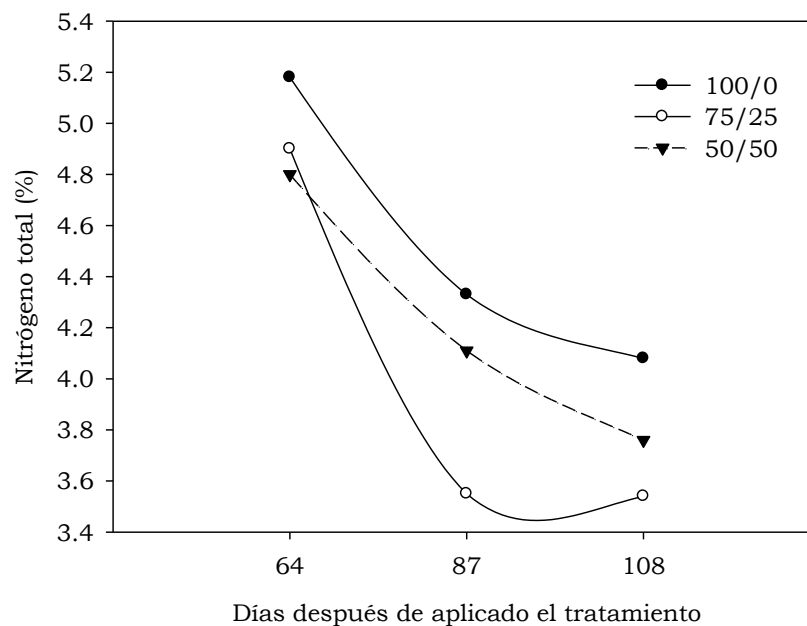


Figura 6. Dinámica del N-total en plantas de semilla.

Fageria *et al.* (1997) encontraron que en arroz, las concentraciones de N en los tejidos disminuyeron con el avance de la edad. Caloin y Yu (1984) mencionan que la disminución del contenido de N en la materia seca se asocia a su

movilidad en la planta y a su exportación de los órganos senescentes hacia las regiones en estado de crecimiento activo.

En el muestreo a los 64 ddt no hubo diferencias en la concentración de N-total, lo que indica que al final del crecimiento vegetativo e inicio de la floración la planta de *Physalis peruviana* L. absorbe y aprovecha de igual manera el N de los tres tratamientos. Respecto a lo anterior McElhannon y Mills (1978) y Mills y McElhannon (1982) mencionan que la utilización de nitrato o amonio es afectada por la etapa de crecimiento.

Además se aprecia que el tratamiento 75/25, con el 25% de N-NH₄⁺, disminuye en los días 87 y 108 (ddt) de manera más acentuada que los tratamientos 100/0 y 50/50. Lo anterior podría indicar que la relación de las formas iónicas de N en el tratamiento con 25% de N-NH₄⁺ no es tan buena como las relaciones 100/0 y 50/50 al influir en la absorción y utilización del N por las plantas, como lo reportan Maynard y Barker (1969) y McElhannon y Mills (1978).

Los resultados para la variable N-total producto de la aplicación de los tratamientos indican que el comportamiento es muy consistente a lo documentado en varias investigaciones.

6.2.2. Nitrógeno nítrico

La aplicación de los tratamientos no provocó cambios significativos en la acumulación de N-NO₃⁻ a 64 y 108 ddt (Cuadro 12), es decir, los cambios en la disponibilidad de N-NO₃⁻ no influyeron en la concentración de esta forma nitrogenada en tejido foliar contrario a lo que encontraron Wright y Davidson (1964) y Maynard *et al.* (1976) de que el suministro de nitratos es el factor más importante que controla la acumulación de nitratos en plantas, así mismo He *et al.* (1994) observaron diferencias en la concentración de nitratos en plantas de tomate al variar las cantidades de nitratos en la solución nutritiva. La respuesta en concentración de esta forma nitrogenada a 87 ddt donde el tratamiento 100/0 fue superior estadísticamente al tratamiento con menor

aporte de N-NO₃⁻ (50/50) se ajusta a los hallazgos de Wright y Davidson (1964) y Maynard *et al.* (1976) y He *et al.* (1994).

Cuadro 12. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-NO₃⁻ en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	64 ddt		87 ddt		108 ddt	
	%					
100/0	0.13	a ^z	0.14	a	0.11	a
75/25	0.07	a	0.12	ab	0.11	a
50/50	0.11	a	0.11	b	0.10	a
DMS (0.05)	0.11		0.03		0.13	
CV (%)	55.44		12.62		62.69	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

La variabilidad mostrada en la medición de la concentración de N-NO₃⁻ por muestreo es muy grande lo que dificulta la observación de diferencias estadísticas significativas debidas a la aplicación de los tratamientos. Lo anterior se observa en el muestreo a 87 ddt, donde sí existieron diferencias en las concentraciones de esta forma nitrogenada debidas a la variación controlada en el experimento; los tratamientos.

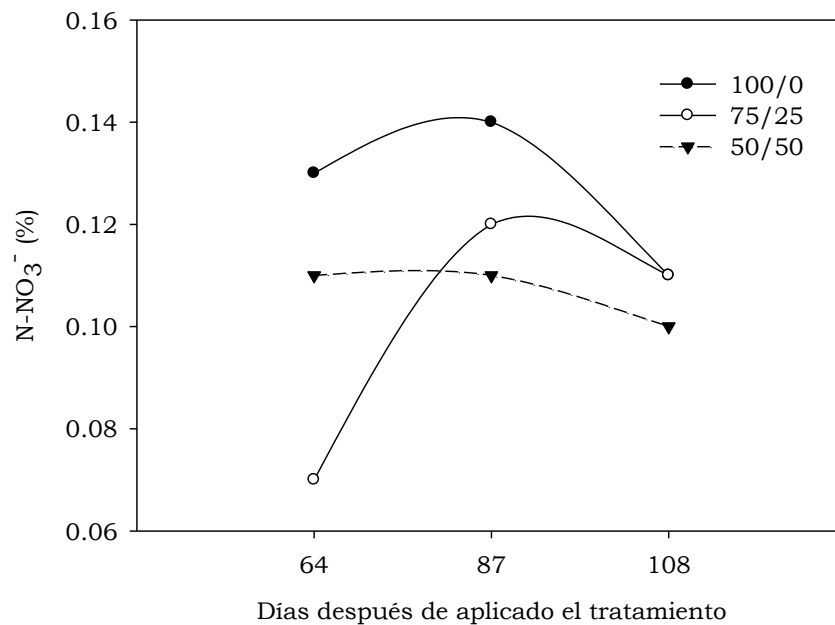


Figura 7. Dinámica del N-NO₃⁻ en plantas de semilla.

En la Figura 7 se aprecia la dinámica de esta forma nitrogenada a través de las etapas fenológicas, donde la concentración del N-NO₃⁻ aumenta de la etapa de floración a la etapa de fructificación y desciende durante la maduración de los frutos, ajustándose a lo reportado por Brizuela *et al.* (2005) quienes encontraron que la concentración de N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolo en chiles sigue la misma tendencia. El cambio en concentración de N-NO₃⁻, en las diferentes etapas fenológicas concuerda con lo encontrado por Mackerron *et al.* (1995), quienes concluyeron que las concentraciones de nitratos en el jugo celular de pecíolo de papa muestran alta variabilidad espacial y temporal.

6.2.3. Nitrógeno reducido

Las concentraciones encontradas de N-reducido en los tres muestreos; floración, fructificación y maduración de frutos se muestran en el Cuadro 13, donde se observa que ningún tratamiento provocó cambios significativos en la ocurrencia de esta forma nitrogenada del ddt 64 al 108. Lo anterior indica que la disponibilidad diferencial de las formas de N, sea N-NO₃⁻ o N-NH₄⁺ no afecta la absorción, reducción, acumulación y translocación de esta forma nitrogenada. Al respecto, Mitsuru *et al.* (1995) encontraron que en el cultivo de papa la composición de aminoácidos proteicos no fue muy diferente entre el tratamiento con N-NH₄⁺ y el tratamiento con N-NO₃⁻.

Cuadro 13. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-reducido en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	64 ddt		87 ddt		108 ddt	
	%					
100/0	0.86	a ^z	0.69	a	0.94	a
75/25	1.10	a	0.71	a	0.96	a
50/50	1.51	a	0.57	a	0.93	a
DMS (0.05)	0.68		0.32		0.36	
CV (%)	29.90		24.58		19.33	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

La Figura 8 muestra la dinámica del N-reducido que contrasta con la dinámica del N-NO₃⁻ (Figura 7). En las etapas de floración y maduración se requieren

mayor cantidad de productos de la asimilación del N. Bollard (1957) y Feucht (1967) mencionan al respecto que en algunas especies de la familia Rosaceae ocurre un considerable aumento de algunos aminoácidos y amidas en el torrente savial durante la floración, periodo crítico donde aumentan los requerimientos de N para el desarrollo de tejidos asociados con la producción.

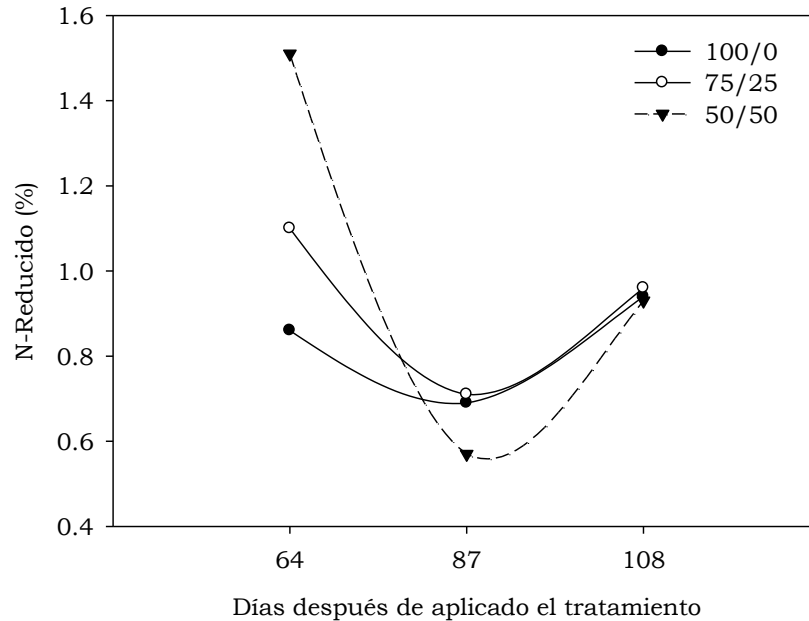


Figura 8. Dinámica del N-reducido en plantas de semilla.

Se infiere que en la etapa de floración hay una mayor absorción o acumulación y posible tolerancia a esta forma nitrogenada en comparación con la etapa de maduración de frutos. Lo anterior es desacuerdo a lo documentado por Zornoza y Carpena (1992) quienes encontraron que las plantas maduras de pepino muestran mayor tolerancia al NH_4^+ .

Los picos o mayores concentraciones de N-reducido pueden ser consecuencia de la reducción del NO_3^- como lo indican Lea *et al.* (1992) y Hodges (2002) al mencionar que el amonio de las hojas se genera por cuatro procesos: (1) la reducción del nitrato transportado desde las raíces; (2) la transformación de la asparagina en aspartato más amonio en las hojas jóvenes; (3) el

catabolismo de aminoácidos y la síntesis de lignina en el tejido senescente y (4) la conversión de glicina a serina durante la fotorespiración.

Ohyama (1983, 1984) y Ohyama y Kawai (1983) mencionan que en soya la mayor parte de los nitratos absorbidos a partir del medio en la etapa reproductiva, se transportan a las hojas y se redistribuyen de las hojas a las vainas y semillas, principalmente en la forma de asparagina, es decir hay una disminución del N reducido foliar al translocarse a otros órganos en etapas reproductivas como ocurrió en la presente investigación.

6.2.4. Rendimiento

En el Cuadro 14 se muestran los valores promedio en número de frutos, peso promedio de fruto con y sin cáscara y rendimiento total (g) por planta para cada tratamiento en el cultivo de *Physalis peruviana* L. en plantas de semilla. El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas significativas debidas a la aplicación de los tratamientos en donde los tratamientos con ambas formas iónicas de N, (75/25 y 50/50) fueron los que presentaron los mayores rendimientos, sea como número de frutos (149.74 y 142.25 frutos, respectivamente) o como rendimiento por planta (600.50 y 579.89 g., respectivamente). Heberer y Below (1989) mencionan que el aumento en el rendimiento de cultivos hidropónicos cuando el NH_4^+ sustituye parte de los NO_3^- es del orden del 40 al 70%. Además se ha documentado que una proporción óptima de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ favorece el crecimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jingquan y Dewei, 1988) y rendimiento (Kwak *et al.*, 1989). Por su parte Sandoval *et al.* (1992) documentaron que es posible obtener una mayor producción de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de materia seca, cuando se emplea N- NH_4^+ en relaciones menores o iguales a 50% de la cantidad de N que cuando la planta es suministrada exclusivamente con N- NO_3^- .

La aplicación de los tratamientos no provocó diferencias estadísticas significativas en el peso de fruto. Wu *et al.* (2005) mencionan que la planta de *Physalis peruviana* L. puede producir hasta 300 frutos, sin embargo, en esta investigación el número de frutos, independientemente de los tratamientos fue menor. Sandhu *et al.* (1989) y Angarita y Santana (1997) mencionan que esta planta presenta alta variabilidad en crecimiento, vigor, rendimiento y fenotipo. El peso promedio de los frutos con cáliz fue de 3.66 g (100/0) a 4.15 g (50/50) en acuerdo con lo establecido por Ayala *et al.* (2007) quienes encontraron frutos con peso de 3.9 a 4.8 g en los ecotipos Huanuco, Huariaca y Huancayo. Por otra parte Almanza y Espinoza (1995) y Fischer *et al.* (2000a) reportan peso promedio de 5 g en frutos del Ecotipo Colombia.

Cuadro 14. Promedio de tratamientos sobre el rendimiento en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Media No. Frutos		Peso Fruto C.C. (g)		Peso Fruto S.C. (g)		Rto. (g)	
100/0	96.25	b ^z	3.66	a	3.24	a	351.99	b
75/25	149.75	a	4.03	a	3.50	a	600.50	a
50/50	142.25	ab	4.15	a	3.70	a	579.89	a
DMS (0.05)	52.90		0.91		0.80		173.80	
CV (%)	20.71		11.75		11.71		17.24	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación. C.C.; con cáliz. S.C.; sin cáliz.

La obtención de rendimientos mayores en *Physalis peruviana* L. es posible con la aplicación combinada de las dos formas iónicas de nitrógeno.

6.2.5. Correlación lineal simple entre las variables

En el Cuadro 15 se muestran los coeficientes de correlación Pearson entre la variable número de frutos (rendimiento) con cada una de las tres variables: N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido. Ninguna de las tres variables mostró significancia estadística al correlacionarse con el rendimiento en ningún muestreo, excepto para la variable N-NO₃⁻ a los 87 ddt que correlaciona negativamente con el rendimiento.

Poovarodom y Chatupote (2002) mencionan que el rendimiento de *Durio zibethinus* es afectado por otros factores, aun en condiciones nutrimentales

óptimas, y por tanto no se encuentran relaciones significativas entre el contenido mineral y el rendimiento. Suchartgul *et al.* (2012) mencionan que el crecimiento o rendimiento de *Hevea brasiliensis* Muell Arg. es afectado por múltiples factores.

La poca o nula relación entre las concentraciones foliares de las formas nitrogenadas y el rendimiento en *Physalis peruviana* L. puede deberse a su alta variabilidad en crecimiento, vigor, rendimiento (Sandhu *et al.*, 1989) y fenotipo (Angarita y Santana, 1997) que causan variación en la absorción y translocación de las formas nitrogenadas con respecto a especies con mayor grado de cultivo.

Cuadro 15. Correlación entre el número de frutos vs N-total, N-NO₃ y N-reducido en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Variable	64 ddt		87 ddt		108 ddt	
100/0	N-total	-0.775 (0.224)	ns	-0.225 (0.774)	ns	-0.425 (0.574)	ns
	N-NO ₃ ⁻	-0.741 (0.258)	ns	0.309 (0.690)	ns	-0.675 (0.324)	ns
	N-reducido	0.439 (0.560)	ns	0.462 (0.537)	ns	-0.266 (0.734)	ns
75/25	N-total	-0.814 (0.185)	ns	-0.282 (0.717)	ns	0.528 (0.471)	ns
	N-NO ₃ ⁻	0.336 (0.663)	ns	0.581 (0.418)	ns	-0.329 (0.670)	ns
	N-reducido	-0.593 (0.406)	ns	-0.566 (0.433)	ns	-0.520 (0.479)	ns
50/50	N-total	-0.169 (0.830)	ns	-0.174 (0.825)	ns	0.199 (0.800)	ns
	N-NO ₃ ⁻	0.820 (0.179)	ns	-0.983 (0.016)	*	0.344 (0.655)	ns
	N-reducido	0.494 (0.505)	ns	0.034 (0.965)	ns	-0.058 (0.941)	ns

ddt; días después de aplicado el tratamiento, ns; no significativo, *; significativo (0.05). Para probar Ho: $\rho=0$ vs Ha: $\rho\neq 0$.

El alto grado de variación no controlable en el experimento (CV) de las variables rendimiento, sea este medido como número de frutos o rendimiento por planta

y las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido limita la manifestación de una correlación contundentemente.

6.2.6. Coeficiente de variación en las etapas fenológicas

En el Cuadro 16 se muestra la variación de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en los tres muestreos y promedio del experimento. Se observa que la variable N-total es la más consistente (CV = 6.33%), seguido de la variable N-reducido (CV = 24.60%) y la variable N-NO₃⁻ (CV = 43.58%) es la menos consistente y con mayor variación.

Cuadro 16. Comportamiento de las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas de semilla respecto a su variabilidad promedio.

Variable	Coeficiente de variación (%)			
	64 ddt	87 ddt	108 ddt	Promedio
N-total	5.47	9.22	4.30	6.33
N-NO ₃	55.44	12.62	62.69	43.58
N-reducido	29.90	24.58	19.33	24.60

ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Thenabadu (1972) indicó que la concentración de nitrógeno total en hojas de arroz es mejor indicador del status del N que las fracciones solubles en agua y las amidas más el N-NH₄⁺. Rubio *et al.* (2009) al trabajar con árboles de almendro y nectarina encontraron que el nitrógeno total es menos variable que el nitrato, amonio y N soluble. La variable N-reducido se comporta con variabilidad y consistencia intermedia en comparación con el N-total y N-NO₃⁻ posibilitando su uso como herramienta de diagnóstico del estado del N en el cultivo de *Physalis peruviana* L.

La variable N-NO₃⁻ presentó la mayor variación e inconsistencia limitando su uso como herramienta de diagnóstico nutrimental. Iversen *et al.* (1985) reportaron que la concentración de nitratos en la base de los tallos de maíz no fue un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo.

Se concluye que la variable N-total dada su menor variabilidad, su mayor consistencia y predictibilidad (Cuadro 7A) es la medición con mayor utilidad como herramienta de diagnóstico nutrimental y que la medición de N-NO_3^- es muy inconsistente y variable al inducir cambios en la disponibilidad de las dos formas iónicas de nitrógeno limitando su uso en diagnóstico nutrimental en *Physalis peruviana* L. La variable N-reducido presentó utilidad intermedia (Cuadro 8A).

6.3. Análisis General

La dinámica de la concentración de N-total se comporta de acuerdo a lo establecido en varias investigaciones mencionadas en la revisión de literatura, sea en plantas sometidas a poda o de semilla e independientemente de los tratamientos. Además de que su consistencia (menor variación) es mejor que la del N-NO_3^- y N-reducido, lo que indica una mejor estimación de la concentración de N-total dentro del periodo experimental (Cuadro 6A, 7A y 8A) en comparación con las otras dos formas nitrogenadas.

La dinámica de la concentración N-NO_3^- es muy variable e inconsistente a lo largo del periodo de estudio en ambos grupos de plantas, siendo mayor en plantas sometidas a poda, independientemente del tratamiento.

El comportamiento del N-reducido, opuesto a la dinámica del N-NO_3^- , presentó consistencia y variabilidad intermedia en los dos grupos de plantas en todos los tratamientos.

En las tres variables, N-total, N-NO_3^- y N-reducido, las concentraciones promedio son diferentes entre ambos grupos de plantas para un muestreo particular sugiriendo la influencia del sistema de raíces sobre la absorción, transporte y regulación de las formas transportadas de nitrógeno (Cuadro 4A y 5A).

Los datos promedio de la investigación para las variables N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda y de semilla indican que la mayor parte del nitrógeno en el cultivo de *Physalis peruviana* L. se transporta como N-reducido, siendo está la variable que aporta más al N-total en cualquier tratamiento, muestreo y tipo de planta (Figuras 1A-6A).

VII. CONCLUSIONES

- En plantas sometidas a poda la forma nitrogenada con menor variabilidad promedio fue la variable N-total (CV = 15.89%), la variable N-reducido presentó variación intermedia (CV = 23.51%) y la medición de N-NO₃⁻ presentó la mayor variación (CV = 66.05%), de esta manera la medición de N-total es que tiene utilidad como herramienta de diagnóstico nutrimental.
- En plantas de semilla la forma nitrogenada con menor variabilidad promedio fue la variable N-total (CV = 6.33%), la variable N-reducido presentó variación intermedia (CV = 24.60%) y la medición de N-NO₃⁻ presentó la mayor variación (43.58%), de esta manera la medición de N-total es que tiene utilidad como herramienta de diagnóstico nutrimental.
- Las formas nitrogenadas; N-total y N-NO₃⁻, y el rendimiento presentaron mayor variación (CV) promedio en las plantas sometidas a poda que en las plantas de semilla: en la variable N-total 15.89% en plantas sometidas a poda y 6.33%, en la variable N-NO₃⁻ 66.05 y 43.58%, respectivamente. Finalmente para la variable N-reducido las plantas sometidas a poda presentaron variación menor que las plantas de semilla, 23.51 y 24.60%, respectivamente. El rendimiento medido como número de frutos presentó variación de 58.90 y 20.71% en plantas sometidas a poda y de semilla.
- En plantas sometidas a poda la variable N-total fue la de menor variabilidad y mayor consistencia en los muestreos a 39, 64 y 87 ddt. Sin embargo en el muestreo a 108 ddt la variable N-reducido presentó menor variación y por consecuencia puede ser mejor indicador del estado del nitrógeno que la medición del N-total. La medición de la concentración de

N-NO₃⁻ en todos los muestreos presentó la mayor variación e inconsistencia.

- En los muestreos a 39, 64 y 87 ddt la variable N-total fue la menos variable seguida de la variable N-reducido y el N-NO₃⁻. Sin embargo a 108 ddt la variable N-reducido es la de menor variación seguida de la variable N-total y el N-NO₃⁻. Lo anterior indica que en los tres primeros muestreos el N-total es la variable más útil con fines de diagnóstico y en el muestreo 1 108 ddt la variable N-reducido es la más adecuada.
- La obtención de rendimientos mayores en *Physalis peruviana* L. es posible con la aplicación combinada de las dos formas iónicas de nitrógeno, sin embargo tal aumento no es estadísticamente diferente de cuando se aplica sólo la forma aniónica de nitrógeno a la solución nutritiva en las plantas sometidas a poda. La diferencia en rendimiento se manifestó en plantas de semilla.
- Los valores óptimos del mejor indicador del nivel del nitrógeno en *Physalis peruviana* L., es decir de la concentración de N-total son: en plantas sometidas a poda 4.67% a 39 ddt, 5.08% a 64 ddt, 4.04% a 87 ddt y 3.34% a 108 ddt; en plantas de semilla 4.90% a 64 ddt, 3.55% a 87 ddt y 3.54% a 108 ddt. Las concentraciones anteriores hacen referencia a relación 75/25 con la cual se obtuvo el mejor rendimiento en ambos grupos de plantas.
- La mayor parte del nitrógeno en el cultivo de *Physalis peruviana* L. se transporta como N-reducido, siendo está la variable que aporta más al N-total en cualquier tratamiento, muestreo y tipo de planta.
- El alto grado de variación no controlable en el experimento (CV) en las variables rendimiento, sea este medido como número de frutos o

rendimiento por planta y las variables N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido limita la manifestación de correlación lineal simple.

- Para el establecimiento de valores de referencia con fines de diagnóstico nutrimental más confiables se recomienda emplear plantas de semilla y un mayor número de muestreos.
- La metodología para la determinación de N-total (Método Kjeldahl) fue la que arrojó datos con mayor consistencia, predictibilidad y utilidad en el diagnóstico del estado de la nutrición del nitrógeno en el cultivo de *Physalis peruviana* L.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abak, K., Guller, H. Y., Sari, N. and Parsoy, M. 1994. Earlines and yield of *Physalis* (*P. ixocarpa* Brot, and *P. peruviana* L.) in greenhouse, low tunnel and open field. Acta Hort. 366:301-306.
- Adams, M. A. and Attiwill, P. M. 1982. Nitrate reductase activity and growth response of forest species to ammonium and nitrate sources of nitrogen. Plant Soil 66:373-381.
- Agronet. 2012. Exportaciones 1991-2012 de uchuvas (uvillas) (*Physalis peruviana*) fresca. En línea en: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>. (Consultado en Noviembre de 2012).
- Ahmad, S., Yasmin, R., and Malik, A. 1999. New Withanolide Glycosides from *Physalis peruviana* L. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 47:477-480.
- Ajayi, O., Maynard, D. N. and Barker, A. V. 1970. The effect of potassium on ammonium nutrition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Agron. J. 62:818-821.
- Alcántar, G. G. y Sandoval V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Allen, S. and Smith, J. A. C. 1986. Ammonium nutrition in *Ricinus communis*. Its effect on plant growth and the chemical composition of the whole plant, xylem and phloem sap. J. Exp. Bot. 184:1599-1610.
- Almanza, P., y Espinosa, C. 1995. Desarrollo morfológico y análisis físico químico de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. para identificar el momento óptimo de cosecha. Facultad de Ciencias Agropecuarias, vol. Especialista en frutales en clima frío (pp. 83). Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Andreeva, T. F., Maevskaya, S. N. and Voevudska, S. Y. 1998. The relationship between photosynthesis and nitrogen assimilation in Mustard plants exposed to elevated nitrate rates in nutrient solutions. Russian J. Plant Physiol. 45:702-705.
- Angarita, A., y Santana, G. 1997. Regeneración adventicia de somaclonales en uchuva (*Physalis peruviana*). Agron. Colomb. 14:59-65.

Angulo, R. 2005. Uchuva, el cultivo. Centro de investigaciones y Asesoría Agroindustrial, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano-Conciencias, Bogotá. 78 p.

Ayala, H. J., López, G. E., Andrade, R. M., Mora, A. R. y Peña, L. A. 2007. Cultivo de Seis Ecotipos de *Physalis peruviana* L. en Invernadero. XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. 14 al 17 de Agosto de 2007. Zacatecas, Zacatecas, México.

Baethgen, W. E., and Alley, M. M. 1989. Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensive managed winter wheat: I. Crop nitrogen uptake. *Agron. J.* 81: 116-120.

Balsberg, P. A. M. 1992. Influence of nitrogen fertilization on minerals, carbohydrates, amino acids and phenolic compounds in beech (*Fagus sylvatica* L.) leaves. *Tree Physiol.* 10:93-100.

Barber, S. A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley and Sons. New York, USA. 413p.

Barker, A. V. 1968. Ammonium interactions with proteins. *Biochim. Biophys. Acta* 168:447-455.

Barker, A. V., Maynard, D. N. and Mills, H. A. 1974. Variations in nitrate accumulation among spinach cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99:132-134.

Barker, A. V., Peck, N. H. and Macdonald, G. E. 1971. Nitrate accumulation in vegetables. I. Spinach grown in upland soils. *Agron. J.* 63:126-129.

Barker, A. V., Volk, R. J. and Jackson, W. A. 1965. Effects of ammonium and nitrate nutrition on dark respiration of excised bean leaves. *Crop Sci.* 5:439-444.

Barker, A. V., Volk, R. J., and Jackson, W. A. 1966. Root environment acidity as a regulatory factor in ammonium assimilation by the bean plant. *Plant Physiol.* 41:1193-1199.

Bates, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112:116-130.

Bischoff, M., Hiar, A. M. and Turco, R. F. 1996. Evaluation of nitrate analysis using test strips: comparison with two analytical laboratory methods. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 27:2765-2774.

- Blackmer, T. M., and Schepers, J. S. 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 25:1800-1991.
- Bloom, A. J. 1988. Ammonium and nitrate as nitrogen sources for plant growth. *ISI Atlas Sci. Animal Plant Sci.* 1:55-59.
- Bloom, A. J. 1997. Nitrogen as a limiting factor: crop acquisition of ammonium and nitrate. *In: Jackson, L. E. (ed.). Ecology in Agriculture.* Academic Press, San Diego.
- Bock, B. R., Camberato, J. J., Below, F. E., Pan, W. L., and Koenig, R. T. 1991. Wheat responses to enhanced ammonium nutrition. *In J. R. Hu V Man (ed.) "Effects of Enhanced Ammonium Diets on Growth and Yield of Wheat and Corn"*. Foundation for Agronomic Research, Atlanta, GA, USA. pp. 93-106.
- Bollard, E. G. 1957. Nitrogenous compounds in tracheal sap of woody members of the family rosaceae. *Aust. Biol. Sci.* 10:288-291.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 2008. *The Nature and Properties of Soils.* Prentice Hall/Pearson Education. 965 p.
- Brito, D. 2002. Producción de uvilla para exportación: Agroexportación de productos no tradicionales. Fundación Aliñambi, Quito, Ecuador. p.1-10.
- Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2001. Constancy of nitrogen turnover kinetics in the plant cell: Insights into the integration of subcellular N fluxes. *Planta* 213:175-181.
- Brizuela, A. P. B., Alcántar, G. G., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., Castellanos, R. J. Z., Maldonado, T. R. 2005. Nitratos en soluciones nutritivas en el extracto celular de peciolo de chile. *Terra* 23:469-476.
- Caloin, M. and Yu, O. 1984. Analysis of the time course of changes in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Annals of Botany* 54:69-76.
- Calvo, V. I. 2009. El cultivo de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). Boletín Técnico No. 10. San José Costa Rica. En Línea en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00170.pdf> (Consultado el 27 Marzo 2012).
- Cao W. and Tibbits, T. W. 1998. Response of potatoes to nitrogen concentrations differ with nitrogen forms. *J. Plant Nutr.* 21:615-623

Cary, R. P. 1971. The irrationality of using leaf analysis as a unique reference to citrus fertilizer requirement, pp. 15-27. *In*: Samish, R. M. (ed.) Ed. Recent Advances in Plant Nutrition. Vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA.

Castellanos-Ramos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.

Castro, A. M., Rodríguez, L., and Vargas, E. M. 2008. Dry gooseberry (*Physalis peruviana* L.) with pretreatment of osmotic dehydration. *Vitae - Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 15:226-231.

Castro, B. R., Sánchez, G. P., Peña, L. A., Alcántar, G. G., Baca, C. G. y López, R. R. M. 2000b. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO₃ en el extracto celular de peciolo de tomate de cascara. *Terra* 18:141-145.

Castro, B. R., Sánchez, G. P., Peña, L. A., Alcántar, G. G., Baca, C. G. y López, R. R. M. 2000a. Nitratos en el extracto celular de peciolo y tallo de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:33-38.

Causin, H. E. and Barneix, A. J. 1993. Regulation of NH₄⁺ uptake in young wheat plants: Effect of root ammonium concentration and amino acids. *Plant and Soil* 151:211-218.

Cedeño, M. M. y Montenegro, D. M. 2004. Plan exportador, logístico y de comercialización de uchuva al mercado de Estados Unidos para FRUTEXPO SCI Ltda. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 132 p.

CEPES. (2010). Centro Peruano de Estudios Sociales. Disponible en: <http://www.cepes.org.pe/portal/estadistica>.

Chapman, H. D. and Brown, S. M. 1950. Analysis of orange leaves for diagnosing nutrient status with reference to potassium. *Hilgardia* 19:501-540.

Chia, C. L., Nishima, M. S. and Evans, D. O. 1997. Poha. CTAHR Fact Sheet. Horticultural Commodity No. 3. University of Hawai. Manoa. 2 p.

Chiallou, S., Morot-Gaundry, J. F., Salsac, L., Lesaint, C. and Jolivet, E. 1986. Compared effects of NO₃⁻ and NH₄⁺ on growth and metabolism on French bean. *Physiol. Vég.* 24:679-687. R. P. Singh (eds). Associated Publishing Co. of New Delhi, India. pp:155-163.

Claasen, M. and Wilcox, G. E. 1974. Effect of nitrogen form on growth and composition of tomato and pea tissue. *J Am. Soc. Hort. Sci.* 99:171-174.

Clarkson, D. T. and Warner, A. J. 1979. Relationships between Root temperature and the transport of ammonium and nitrate Ions by Italian and Perennial Ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). Plant Physiol. 64:557-561.

Claussen, W. and Lenz, F. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. Plant and Soil. 208:95-102.

Cooper, H. D. and Clarkson, D. T. 1989. Cycling of amino nitrogen and other nutrients between shoots and roots in cereals. J. Exp. Bot. 40:753-762.

Corporación Colombiana Internacional. 2002. Uchuva-perfil del producto. Inteligencia de Mercados. 13:1-12.

Cox, W. J. and Reisenauer, H. M. 1973. Growth and ion uptake by wheat supplied with nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. Plant Soil 38: 363-380.

Cramer, M. D. and Lewis, O. A. M. 1993. The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plants. Ann. Bot. 72:359-365.

Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. Plant Cell 7:859-868.

Criollo, E. H. e Ibarra, C. V. 1992. Germinación de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes grados de madurez y tiempo de almacenamiento. Acta Hort. 310:183-187.

Darby, R. J., Widdowson, F. V., Bird, E. and Heewitt, M. V. 1986. The relationship of soil mineral $\text{NO}_3^- \text{N}$ with stem $\text{NO}_3^- \text{N}$ concentration and fertilizer-N with the amount of nitrogen taken up by winter wheat, in experiments testing nitrogen fertilizer in combination with aphicides and fungicides, from 180 to 1982. J. Agric. Sci. 106:497-507.

Dhugga, K. S. and Waines, J. G. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. Crop. Sci. 29:132-1239.

Donohue, S. J. and Brann, D. E. 1984. Optimum N concentration in winter wheat grown in the coastal plain region of Virginia. Com. Soil Sci. Plant Anal. 15:651-661.

Drew, M. C. and Saker, L. R. 1984. Uptake and long-distance transport of phosphate, potassium and chloride in relation to internal ion concentrations in barley: Evidence of non-allosteric regulation. *Planta* 160:500-507.

Echeverría, H. E. y Studdert, G. A. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. *Ciencia del Suelo* 19:67-74.

Echeverría, H. E., Strada, R. A. y Studdert, G. A. 2000. Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 18:105-114.

Edwards, J. and Horton, B. D. 1982. Interaction of peach seedlings to $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios in nutrient solutions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107:142-147.

Edwards, J. W. and Coruzzi, G. M. 1989. Photorespiration and light act in concert to regulate expression of the nuclear gene for chloroplast and cytosolic glutamine synthetase. *Plant Cell* 1:241-248.

Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. John Wiley, New York.

Errebhi, M. and Wilcox, G. E. 1990. Tomato growth and nutrient uptake pattern as influenced by nitrogen form ratio. *J. Plant Nutr.* 13:1031-1043.

Espinoza, K., Bonilla M. L., Muñoz, J. E., Posso, A. M. y Vásquez, H. D. 2004. Colección, caracterización fenotípica y molecular de poblaciones de Uchuva *Physalis peruviana*. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 2:72-78.

Estupiñan, H. y Ossa, J. A. 2007. Efecto del agente causal de la marchitez vascular de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) el hongo *Fusarium oxysporum* Schlecht, sobre algunas solanáceas y otras especies cultivadas afectadas por formas especiales del microorganismo. *Microbiólogo Agrícola y Veterinario*. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá. Página 20.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Jones, C. A. 1991. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. Marcel Dekker. New York, USA. 475p.

Fageria, N. K. 2003. Plant tissue test for determination of optimum concentration and uptake of nitrogen at different growth stages in lowland rice. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 34:259-270.

Fageria, N. K., Santos, A. B., and Baligar, V. C. 1997. Phosphorus soil test calibration for lowland rice on an Inceptisol. *Agron. J.* 89:737-742.

- Feil, B. 1994. Growth and ammonium: Nitrate uptake ratio of spring wheat cultivars under a homogeneous and a spatially separated supply of ammonium and nitrate. *J. Plant Nutr.* 17:717-728.
- Feng, J and Barker, A. V. 1992. Ethylene evolution and ammonium accumulation by nutrient-stressed tomato plants. *J. Plant Nutr.* 15:137-153.
- Feucht, W. 1967. La fisiología de la madera frutal. *Ciencias Agrícolas. Universidad de Chile. Fac. Agron.* 1:44-48.
- Fischer, G. 2000. Fisiología del cultivo de la uchuva *Physalis peruviana* L. In: *Memorias Tercer Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales C. D. T. F. Manizales.* pp. 9-26.
- Fischer, G. y Almanza, P. J. 1993. Nuevas tecnologías en el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana* L. *Agrodesarrollo* 4:294.
- Fischer, G. y Martínez, O. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana* 16:35-39.
- Fischer, G., Ebert, G. and Lüdders, P. 2000b. Provitamin A Carotenoids, organic acids and ascorbic acid content of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) ecotypes grown at two tropical altitudes. *Acta Hort.* 531:263-268.
- Fischer, G., Florez, V. y Sora, A. 2000a. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. Universidad Nacional de Colombia sede Santa Fé de Bogotá. Facultad de Agronomía. 175p.
- Flores, P., Carvajal, M., Cerda, A., and Martínez, V. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. *J. Plant Nutr.* 24:1561-1573.
- Flórez, V., Fischer, G. y Sora, A. 2000. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Unibiblos.
- Flowers, M., Weisz, R. and Heiniger, R. 2003. Quantative approaches for using color infrared photography for assessing in season nitrogen status in winter wheat. *Agron. J.* 95:1189-1200.
- Follett, R. H., Follett, R. F. and Halvorson, A. D. 1992. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 23:687-697.

Fotelli, M. N., Nahm, M., Heidenfelder, A., Papen, H., Rennenberg, H. and Gebler, A. 2002. Soluble nonprotein nitrogen compounds indicate changes in the nitrogen status of beech seedlings due to climate and thinning. *New Phytol.* 154: 85-97.

Fox, R. H., Piekielek, W. P., McNeal, K. E., Shenk, J. S., Toth, J. D. 1994. Quick test for assessing nitrogen fertilizer need of maize in humid regions. *Memorias del 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo.* 5B:113-114. Acapulco, Gro., México.

Gabelman, W. H., Gerloft, G. C., Schettini, T. and Coltman, R. 1986. Genetic variability in root systems associated with nutrient acquisition and use. *Hort. Sci.* 21:971-973.

Gardner, B. R., and Jones, J. P. 1975. Petiole analysis and the nitrogen fertilization of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal.* 52:195-200.

Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exper. Bot.* 53:789-799.

Gastelum, O. D. A., Sandoval, V. M., Trejo, L. C., y Castro, B. R. 2013. Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 19:197-210.

Gebler, A. and H. Rennenberg. 2000. The effect of liming on the soluble nitrogen pool in Norway spruce (*Picea abies*) exposed to high loads of nitrogen. *Phyton.* 40:51-64.

Geraldson, C. M., Klacan, G. R., and Lorenz, O. A. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops, p. 365-379. *In: L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.). Soil testing and plant analysis.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI, USA.

Gerendás, J., Zhu, Z., Bendixen, R., Ratcliffe, R. G. and Sattelmacher, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk* 160:239-251.

Gertsson, U. E. 1995. Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Hort.* 401:351-356.

Gill, M. A. and Reisenauer, H. M. 1993. Nature and Characterization of ammonium effects on wheat and tomato. *Agron. J.* 85:874-879.

Glass, A. D. M. and Siddiqi, M. Y. 1995. Nitrogen absorption by plant roots. *In: Nitrogen nutrition in higher plants.* H. S. Srivastava. pp 21-56.

Godoy, A. I. y Villalobos, P. A. 1979. Fluctuación estacional en el contenido de algunos constituyentes nitrogenados en tejidos de durazno *Prunus pérsica* (L.) cv. Fortuna. Agricultura Técnica (Chile) 39:46-51.

Góngora, A. C. y Rojas, P. G. 2006. Incidencia de las enfermedades en uchuva *Physalis peruvianum* L. por estado fenológico y de acuerdo con la ubicación en los diferentes estratos de la planta, en el departamento de Cundinamarca. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 87p.

Goos, R. J., Schimelfenig, J. A., Bock, B. R., and Johnson, B. E. 1999. Response of spring wheat to nitrogen fertilizers of different nitrification rates. Agron. J. 91:287-293.

Goos, R. J., Westfall, D. G., Ludwick, A. E. and Goris, J. E. 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. Agron. J. 74:130-133.

Grindlay, D. J. C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. J. Agric. Sci. 128:377-396.

Haase, D. L. and Rose, R. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. Forest Sci. 41:54-66.

Hageman, R. H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-88. In: R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoefl, G. W. Randall y D.A. Russel (eds.). Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, WI, USA.

Haghibhi, B. and Tavassoli, A. 2001. Flow-injection analysis of nitrate by reduction to nitrite and gas-phase molecular absorption spectrometry. Fres. J. Anal. Chem. 371:1113.

Hagin, J., Olsen, S. R. and Shaviv, A. 1990. Review of interaction of ammonium-nitrate and potassium nutrition of crops. J. Plant Nutr. 13:1211-1226.

Harada, T., Takaki, H. and Yamada, Y. 1968. Effect of nitrogen sources on the chemical components in young plants. Soil Science and Plant Nutr. 14:47-55.

Hartman, P. I., Mills, H. A., Jones, J. B. 1986. The Influence of nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in Flora del tomato plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111:487-490.

- Hartz, T. K., Le Strange, M. and May, D. M. 1993. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. *Hort Science* 28:1097-1099.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. 2004. *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education, Patparganj Delhi, India.
- He, Y., Terabayashi, K. and Namiki, T. H. 1994. Fundamental study for diagnosis on nutrient status of tomatoes cultured in hydroponics. *Science Report Kyoto. Prefectural University Agric.* 46:7-14.
- Heberer, J. A. and Below, F. E. 1989. Mixed nitrogen nutrition and productivity of wheat grown in hydroponics. *An. Bot.* 63:643-649.
- Heeb, A., Lundegårdh, B., Ericsson, T., and Savage, G. P. 2005. Effects of nitrate, ammonium, and organic nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:123-129.
- Heuer, B. 1991. Growth, photosynthesis and protein content in cucumber plants as affected by supplied nitrogen form. *J. Plant Nutr.* 14:363-373.
- Hewett, E. W. 1993. New horticultural crops in New Zealand. *In: Janick, J., Simon, J.E. New Crops*. Wiley, New York, pp. 57-64.
- Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical Communication No. 22. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, Maidstone, Kent, UK.
- Hochmuth G. J. 1994a. Efficiency ranges for nitrate nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *Hort Technol. Rev.* 4:218-222.
- Hochmuth, G. J. 1994b. Plant petiole sap testing for vegetable crops. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. Gainesville, FL. USA.
- Hodge, A., Robinson, D., Griffiths, B. S., and Fitter, A. H. 1999. Why plants bother: root proliferation results in increased nitrogen capture from an organic patch when two grasses compete. *Plant Cell Environ.* 22:811-820.
- Hodges, M. 2002. Enzyme redundancy and the importance of 2-oxoglutarate in plant ammonium assimilation. *J. Exp. Bot.* 53:905-916.
- Hopkins, W. G. 1995. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and Sons. New York, USA. 464 p.

- Huett, D. O. and White, E. 1992. Determination of critical nitrogen concentrations of lettuce (*Lactuca sativa* L.), cv. Montello, grown in sand culture. *Australian J. Exper. Agric.* 32:759-764.
- Huppe, H. C. and Turpin, D. H. 1994. Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells. *An. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 45:577-607.
- Ikeda, M., Mizoguchi, K., and Yamakawa, T. 1992. Stimulation of dark carbon fixation in rice and tomato roots by application of ammonium nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38:315-322.
- Inanaga, S. 1996. Translocation and distribution of N within peanut plant. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 67:662-667.
- Ingestad, T. and Kahr, M. 1985. Nutrition and growth of coniferous seedlings at varied relative nitrogen addition rates. *Physiol. Plant.* 65:109-116.
- Ingestad, T. 1973. Mineral nutrient requirements of cucumber seedlings. *Plant Physiol.* 52:332-338.
- Ingestad, T. 1979. Nitrogen stress in birch seedlings. II. N, K, P, Ca and Mg nutrition. *Physiol. Plant.* 45:149-157.
- Ireland, R. J. and Lea, P. J. 1999. The enzymes of glutamine, glutamate, asparagine and aspartate metabolism. *In: B. K. Singh (ed). Plant Amino Acids. Biochemistry and Biotechnology.* Marcell Dekker. New York. pp: 49-109.
- Iversen, K. V., Fox, R. H. and Piekielek. 1985. The relationship of nitrate concentration in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. *Agron. J.* 77:927-932.
- Jackson, W. A. 1978. Nitrate acquisition and assimilation by higher plants: Processes in the root system. *In: D.R. Nielsen and J.G. MacDonald (eds.). Nitrogen in the Environment. Vol. 2.* Academic Press, New York. p. 45-88.
- Jackson, W. A., Volk, R. J., and Tucker, T. C. 1972. Apparent induction of nitrate uptake in nitrate depleted plants. *Agron. J.* 64:518-521.
- Jingquan, Y. and Dewei, C. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soiless Culture* 4:51-61.
- Johnson, C. L., Tindall, T. A., Thornton, M. and Brooks, R. A. 1995. Petiole NO₃-N sufficiency curves in newly developed potato cultivars. *Proceedings of the winter commodity schools-1995.* University of Idaho Cooperative Extension System. pp. 209-217.

Jones, J. B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRS Press. LLC. Boca Raton, FL, USA. 149 p.

Jones, J. B., Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Interpretation of results. In: Plant Analysis Handbook, a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing Inc., USA.

Jungk, A. 1970. Wechselwirkungen zwischen stiekstoffkonzentration (NH_4^+ , NH_4NO_3 and NO_3^-) und pH der nährlösung auf wuchs und ionenhaushalt von tomatenpflanzen. Gartenbauwissenschaft 35:13-28.

Justes, E., Meynard, J. M., Mary, B. and Plénet, D. 1997. Diagnosis using stem based extract: JUBIL method. In: Lemaire, G. (ed.). Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. Springer-Verlag. Berlin, Germany. pp. 163-187.

Kasola, K. R. and Bloom, A. J. 1996. Chlorate as a transport analog for nitrate absorption by roots of tomato. Plant Physiol. 110:1293-1299.

Kato, T. 1980. Nitrogen assimilation in citrus trees. 1. Ammonium and nitrate assimilation by intact roots, leaves and fruits. Physiol. Plant. 48:416-420.

Kelling, K.A., S.M. Combs and J.B. Peters, 2000. Plant Analysis as a diagnostic tool. <http://www.soils.wisc.edu/extension/publications/horizons/2000/Plant%20Analysis%20as%20Tool.pdf>.

Klinac, D. J. 1986. Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) production systems. New Zealand J. Exper. Agric. 14:425-430.

Kotsiras, A., Olympios, C. M., Drosopoulus, J. and Passam, H. C. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. Sci. Hort. 95:175-183.

Kpodar, P. M., Utche, J. C. and Cavalie, G. 1993. Effect of ammonium nitrogen nutrition on photorespiratory metabolism and serine biosynthesis in soybean plants. C. R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la Vie 316:575-578.

Krantz, B. A., Nelson, W. L. and Burkhart, L. F. 1948. Plant tissue tests as a tool in agronomic research. In: Kitchen, H.B. (ed.). Diagnostic Techniques for Soils and Crops. The Amer. Potash Inst., Washington, D.C. pp. 137-56.

Kronzucker, H. J., Siddiqi, M. Y. and Glass, A. D. M. 1997. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. Nature 385:59-61.

Kubota, A. T. L. T., Doerge, T. A. and Godin, R. E. 1997. A petiole sap nitrate test for broccoli. J. Plant Nutr. 20:669-682.

- Kwak, Y. W., Min, B. H. and Lee, J. M. 1989. Effects of nitrogen source on growth and fruit development of tomatoes grown in nutrient solution. *Cated Papers Abstracts Com. Hortic. Sci.* 7:60-61.
- Lam, H. M., Coschigano, K. T., Oliviera, I. C., Melo, O. R. and Coruzzi, G. M. 1996. The molecular genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *An. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47:569-593.
- Lea, P. J., Blackwell, R. D. and Joy, K. W. 1992. Ammonia assimilation in higher plants. *In: K. Mengel and D. J. Pilbeam (eds.). Nitrogen Metabolism of Plants.* Oxford University Press. New York, NY, USA. pp. 154-186.
- Leece, D. R. 1968. The concept of leaf analysis for fruit trees. *J. Australian Inst. Agric. Sci.* 34:146-153.
- Leece, D. R. 1976. Diagnosis of nutritional disorders of fruit trees by leaf and soil analyses and biochemical indices. *J. Australian Inst. Agric. Sci.* 42:3-19.
- Legge, A. P. 1974. Notes on the history, cultivation and uses of *Physalis peruviana* L. *J. Royal Hortic. Soc.* 99:310-314.
- Lemaire, G. and Gastal, F. 1997. N Uptake and distribution in plant canopies. *In: Lemaire, G. (ed). Diagnosis on the Nitrogen Status in Crops.* Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. pp 3-43.
- Lemaire, G., and Salette, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Étude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4:431-436.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M. H. and Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetable stage: theory and practices for crop N management. *Eur. J. Agron.* 28:614-624.
- Liu, L. and Shelp, B. J. 1993. Nitrogen partitioning in greenhouse-grown broccoli in response to varying $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 24:45-60.
- López, L. L. R., Ruíz, J. M., Rivero, R. M., García, P. C., Sánchez, E. and Romero, L. 2000. Role of CaCl_2 in ammonium assimilation in roots of tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) *J. Plant Physiol.* 156:627-677.
- Lundegardh, H. 1954. Physiological aspects on tissue analysis as a guide to soil fertility. *Plant Analysis and Fertilizer Problems.* Institut Recherches Huiles Oleagineux. Paris. pp. 1-5.

- Mackerron, D. K. L., Young, M. W. and Davies, H. V. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant Soil* 172:247-260.
- Macy, P. 1936. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. *Plant Physiol.* 2: 749-764.
- Magalhaes, J. R. and Huber, D. M. 1989. Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. *Fert Res.* 21:1-6.
- Magalhaes, J. R., Machado, A. T. and Huber, D. M. 1995. Similarities in response of maize genotypes to water logging and ammonium toxicity. *J. Plant Nutr.* 18:2339-2346.
- Majerowicz, N., Kerbauy, G. B., Nievola, C. C. and Suzuki, R. M. 2000. Growth and nitrogen metabolism of *Catasetum fimbriatum* (orchidaceae) grown with different nitrogen sources. *Environ. Exp. Bot.* 44:195-206.
- Malavolta, E. and Da Cruz, V. 1971. A meaning for foliar diagnosis. *In: Recent Advances in Plant Nutrition.* Vol. 1. Samish, R. M. (ed.). Ed. Gordon and Breach Science Publisher. New York, USA. pp. 1-14.
- Maldonado, J. M. 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. *In: J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal.* Interamericana-McGraw-Hill, Madrid. pp. 215-236.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, London. 595 p.
- Marschner, H. 1998. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press. San Diego, USA. 889 p.
- Marschner, H., 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, London.
- Martin, R. J. 1995. Evaluation of rapid field methods for determining the nitrogen status of potatoes crops. *Proc. Ann. Conference Agron. Soc. New Zeland.* 25:91-95.
- Matsumoto, H. and Tamura, K. 1981. Respiratory stress in cucumber roots treated with ammonium or nitrate nitrogen. *Plant Soil* 60:195-204.
- Mattson, M., Lundborg, T., Larsson, M. and Larsson, C. M. 1991. Nitrogen utilization in N-Limited barley during vegetative and generative growth. I.

Growth and nitrate uptake kinetics in vegetative cultures grown at different relative addition rates of nitrate N. *J. Exp. Bot.* 43:15-23.

Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L. and Peck, N. H. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28:71-118.

Maynard, D. N., Hochmuth, G. J., Vavrina, C. S., Stall, W. M., Kucharek, T. A., Taylor, T. G., Smith, S. A. and Webb, S. E. 2002. Pepper production in Florida. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agriculture Science. University of Florida. Gainesville, FL, USA.

Maynard, D. N. and Barker, A. V. 1969. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94:235-239.

Maynard, D. N. and Barker, A. V. 1971. Critical nitrate levels for leaf lettuce, radish, and spinach plants. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 2:461-470.

Maynard, D. N. and Barker, A. V. 1974. Nitrate accumulation in spinach as influenced by leaf type. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99:135-138.

Maynard, D. N., Barker, A. V., and Lachman, W. H. 1966. Ammonium induced stem and leaf lesions of tomato plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88:516-520.

Mazorra, M. F., Quintana, Á. P., Miranda, D., Fischer, G., y De Valencia, M. C. 2006. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solanaceae) *Acta Biológica Colombiana* 11:69-81.

McCain, R., 1993. Goldenberry, passionfruit and white sapote: potential fruits for cool subtropical areas. *In: Janick, J., Simon, J.E. (Eds.), New Crops.* Wiley, New York, pp. 479-486.

McCrimmon, J. N., Mills, H. A. and Karnok, K. J. 1992. Effect of N form on macronutrient and micronutrient concentration and uptake of creeping bentgrass. *J. Plant Nutr.* 15:1269-1289.

McElhannon, W. S. and Mills, H. A. 1977. The influence of N concentration and $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on the growth of lima and snap beans and southern pea seedlings. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 8:677-687.

McElhannon, W. S. and Mills, H. A. 1978. Influence of percent $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ on growth, N absorption, and assimilation by lima beans in solution culture. *Agron. J.* 70(4):1027-1032.

McKee, H. S. 1962. Nitrogen Metabolism in Plants. Clarendon Press, Oxford.

- Melsted, S. W., Motto, H. L. and Peck, T. R. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.* 61:17-20.
- Memon, N., Memon, K. S., and Hassan, Z. U. 2005. Plant analysis as a diagnostic tool for evaluating nutritional requirements of banana. *Internat. J. Agric. Biol.* 7:824-831.
- Mengel, K. 1995. Fe availability in plant tissues. Fe chlorosis on calcareous soils. *In: Abadia, J. (Ed.), Fe Nutrition in Soils and Plants.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp. 389–397.
- Mengel, K. and Kirkby, A. 2001. *Principles of Plant Nutrition.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 849p.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1987. Nitrogen. *In: Mengel, K. and Kirkby, E. A. (eds.). Principles of Plant Nutrition.* International Potash Institute. Worldblauen/Bern/Switzerland 593 p.
- Migge A., Meya, G., Carrayol, E., Hirel, B. and Becker, T. W. 1996. Regulation of the subunit composition of tomato plastidic glutamine synthetase by light and the nitrogen source. *Planta* 200:213-220.
- Migge, A. and Becker, T. W. 1996. In tobacco leaves, the genes encoding the nitrate-reducing or the ammonium-assimilating enzymes are regulated differently by external nitrogen-sources. *Plant Physiol. Biochem.* 34:665-671.
- Mills, H. A. and McElhannon, W. S. 1982. Nitrogen uptake by sweet corn. *Hort. Sci.* 17:743-744.
- Mills, H. A., Barker, A. V. and Maynard, D. N. 1976a. Nitrate accumulation in radish as affected by nitrapyrin. *Agron. J.* 68:13-17.
- Mills, H.A., Barker, A. V. and Maynard, D. N. 1976b. Effects of nitrapyrin on nitrate accumulation in spinach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101:202-204.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y Corporación Colombiana Internacional. 2006. Sistema de inteligencia de mercados: información de monitoreo internacional. En línea en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006427154348_uchuvamarzo.pdf. (Fecha de consulta: 26 de Septiembre 2007).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. 2009. En línea en: www.miniagricultura.gov.co/archivos/boletin_agenda_004.pdf (Consultado en Abril de 2012).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2002. Uchuva. Perfil de Producto No. 13. Sistema de Inteligencia de Mercados. Corporación Colombiana Internacional. Bogotá, Colombia. 12 p.

Minotti, P. L., Williams, D. C. and Jackson, W. A. 1968. Nitrate uptake and reduction as affected by calcium and potassium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:692-698.

Minotti, P. L., Williams, D. C. and Jackson, W. A. 1969a. Nitrate uptake in wheat as influenced by ammonium and other cations. *Crop Sci.* 9:9-14.

Minotti, P. L., Williams, D. C., and Jackson, W. A. 1969b. The influence of ammonium on nitrate reduction in wheat seedlings. *Planta* 86:267-271.

Mishra, S. N., Jaiwal, P. K., Rana, P. S. and Srivastava, S. H. 1997. Rhizobium-Legume Association. *In: Nitrogen Nutrition and Plant Growth.* Srivastava, H. S.; Rana, P.S. (eds.). Science Publishers. Enfield, USA. pp. 45-102.

Mitsuru, O., Jun, S., Takuro, S. and Toshiaki, T. 1995. Effects of Ammonium and Nitrate Assimilation on the Growth and Tuber Swelling of Potato Plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41:709-719.

Monselise, E. B. I. and Kost, D. 1993. Different ammonium ion uptake, metabolism and detoxification efficiencies in two Lemnaceae: A nitrogen 15 nuclear magnetic resonance study. *Planta* 189:167-173.

Morton, F. J. 1987. Cape Gooseberry. *In: Morton F., J. (Edit). Fruits of Warm Climates.* University of Miami. Media Incorporated. Miami, FL. USA. pp. 430-434.

Mourão Filho, F. D. A. A. 2004. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Scientia Agricola* 61:550-560.

Muller, B. and Touraine, B. 1992. Inhibition of NO_3^- uptake by various phloem-translocated amino acids in soybean seedlings. *J. Exp. Bot.* 43:617-623.

Munn, D. A. and Jackson, W. A. 1978. Nitrate and ammonium uptake by rooted cuttings of sweet potato. *Agron. J.* 70:312-316.

Munson, R. D. and Nelson, W. L. 1990. Principles and Practices in Plant Analysis. *In: R. L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis.* 3rd ed. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA pp. 359-387.

Nicoulaud, B. A. L. and Bloom, A. J. 1996. Absorption and assimilation of foliarly applied urea in tomato. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121:1117-1121.

Nissen, P. 1974. Uptake mechanisms: inorganic and organic. *An. Rev. Plant Physiol.* 25:53-79.

Noodén, L. D. 1983. Senescence in the whole plant. *In: Thiman, K.V. (ed.). Senescence in Plants.* CRC Press. Boca Raton, FL. USA. pp. 219-258.

Novoa, R., and Loomis, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58:177-204.

Observatorio Agrocadenas. 2002. Análisis de los frutales de exportación de Colombia. En línea en: (<http://agrocadenas.gov.co/frutales>).

Ogata, S. 1963a. The nutrio-physiological significances of NH_4^+ and NO_3^- -N for the plant growth (Part 1). Effect of NH_4^+ and NO_3^- N concentration on the growth of oat plants. *J. Sci. Soil Manure Jpn.* 34:313-317.

Ogata, S. 1963b. The nutrio-physiological significances of NH_4^+ and NO_3^- -N for the plant growth (Part 2). Effect of NH_4^+ and NO_3^- N on the composition of organic constituents and the enzymatic activity of various parts of oat plants. *J. Sci. Soil Manure Jpn.* 34:318-322.

Oh, K., Kato, T. y Xu, H. L. 2008. Transport of Nitrogen Assimilation in Xylem Vessels of Green Tea Plants Fed with NH_4^+ -N and NO_3^- -N. *Pedosphere* 18: 222-226.

Ohyama, T. 1983. Comparative studies on the distribution of nitrogen in soybean plants supplied with N_2 and NO_3^- at the pod filling stage. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:133-145.

Ohyama, T. 1984. Comparative studies on the distribution of nitrogen in soybean plants supplied with N_2 and NO_3^- at the pod filling stage, II. Assimilation and transport of nitrogenous constituents. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30:219-229.

Ohyama, T. and Kawai, S. 1983. Nitrogen assimilation and transport in soybean leaves: Investigation by petiole girdling treatment, *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:227-231.

Oji, Y. and Hirata, M. 1976. Difference in nitrate-reducing ability of rice and cucumber plants. Comparative studies on the nutrio-physiology inorganic nitrogen assimilation by plants. *J. Sci. Soil Manure Jpn.* 47, 178-182.

Oji, Y. and Izawa, G. 1974. Studies on the absorption and assimilation of inorganic nitrogen in intact plants. Part 4. Metabolic background for the

differences in utilization of ammonium and nitrate by rice and cucumber plants. J. Sci. Soil Manure Jpn. 45:341-351.

Oji, Y., Wakiuchi, N., and Izawa, G. 1976. Differences in nitrite assimilating ability of rice and cucumber plants. Comparative studies on the nutritio-physiology of inorganic nitrogen assimilation by plants. J. Sci. Soil Manure Jpn. 47:172-177.

Oji, Y., and Izawa, G. 1972. Quantitative changes of free amino acids and amides in barley plants during ammonia and nitrate assimilation. Plant and Cell Physiol. 13:249-259.

Okano, K., Chutani, K. and Matsuo, K. 1997. Suitable level of nitrogen fertilizer for tea (*Camellia sinensis* L.) plants in relation to growth, photosynthesis, nitrogen uptake and accumulation of free amino acids. Jpn. J. Crop Sci. 66:279-287.

Okhi, K., 1987. Critical nutrient levels related to plant growth and some physiological processes. J. Plant Nutr. 10:1583-90.

Oritani, T. 1984. Studies on nitrogen metabolism in crop plants. 20. Translocation and accumulation into sink of ¹⁵N top-dressed at different growth stages in the rice plant. Jpn. J. Crop Sci. 53:276-281.

Osaki, M., Shinano, T. and Tadano, T. 1991. Redistribution of carbon and nitrogen compounds from the shoot to the harvesting organs during maturation in field crops. Soil Sci. Plant Nutr. 37:117-128.

Padget, P. E., and Leonard, R. T. 1996. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. J. Exp. Bot. 47: 871-883.

Palme, W. 2000. New cultivation systems for *Physalis peruviana* L.: Effects on quality, physiology, productivity and storage. HBLVA für Gartenbau. Forschungsprojekt. Versuchsjahre 2002:340-343.

Parks, S. E., Donald, E. I. and Milham, P. J. 2012. A critical evaluation of on-farm rapid test for measuring nitrate in leafy vegetables. Sci. Hortic. 134:1-6.

Peña, L. A., López, G. E., Ponce, A. D., Ayala, H. J. J., y Mora, A. R. 2006. Agrofenología de *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. Revista Chapingo Serie Horticultura. 12:57-63.

Pilbeam, D. J. and Kirkby, E. A. 1992. Some aspects of the utilization of nitrate and ammonium by plants. In: Mengel, K. Pilbeam, D. J. (eds.). Nitrogen Metabolism of Plants. Clarendon Press, Oxford. pp. 55-70.

- Pommerening, B., Palazo, D., Mastrovito, D., Martelli, S. and Vanadia, S. 1992. A quick test for determining nitrate concentrations in fresh vegetables. *Adv. Hortic. Sci.* 6:33-36.
- Poovarodom, S. and Chatupote, W. 2002. Boundary line approach in specifying durian nutrient standards. Symposium No. 14. Paper No. 2319. Thailand.
- Porter, G. A. and Sisson, J. A. 1991. Petiole nitrate content of Maine-grown Russet Burbank and Shepody potatoes in response to varying nitrogen rate. *Am. Potato J.* 68:493-505.
- Prasad, M. and Ravenwood, I. C. 1986. Evaluation of a rapid sap nitrate test for young kiwifruit vines. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 17:829-837.
- Proexport. 2011. *In: Análisis de exportaciones colombianas.* Proexport, Colombia.
- Proietti, S., Moscatello, S., Leccese, A., Colla, G. and Battistelli, A. 2004. The effect of growing spinach (*Spinacea oleracea* L.) at two light intensities on the amounts oxalate, ascorbate and nitrate in their leaves. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79:606-609.
- Puente, L. A., Pinto, M. C. A., Castro, E. S., and Cortés, M. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Res. Inter.* 44:1733-1740.
- Quesnel, P. O., Côté, B., Fyles, J. and Munson, A. 2006. Optimum nutrient concentrations and CND scores of mature white spruce determined using a boundary-line approach and spatial variation of tree growth and nutrition. *J. Plant Nutr.* 29:1999-2018.
- Raab, T. K. and Terry, N. 1994. Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol.* 105:1159-1166.
- Rangel, J. A., Alcántar, G. G., Castellanos, R. J. Z., García, M. E., Trejo, L. C., y Vaquera, H. H. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20:383-390.
- Rao, K. P. and Rains, D. W. 1976. Nitrate absorption by barley. I. Kinetics and energetics. *Plant Physiol.* 57:55-58.
- Rashid, A. 2005. Soils: Basic concepts and principles. *In: Memon, K. S. and A. Rashid, (eds.). Soil Science.* National Book Foundation, Islamabad.

Raven, J. A. 1985. Tansley review. Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular land plants: costs and benefits in relation to efficiency of use of water, energy and nitrogen. *New Phytol.* 101:25-77.

Reisenauer, H. M. 1978. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. *In: D.R. Nielsen and J.G. MacDonald (eds.) Nitrogen in the environment, Vol. 2. Academic Press, New York.* pp. 157-189.

Resh, H. M. 1991. *Hydroponic Food Production.* Woodbridge Press. Santa Barbara, CA.

Rodgers, C. O. and Barneix, A. J. 1989. The effect of N-deprivation on nitrate uptake and growth rate of two wheat cultivars selected for different fertility levels. *Plant Physiol. Biochem.* 27:387-392.

Rojas, M., Peñuela, A., Chaparro, M., Gómez, C., Aristizábal, G., y López, J. 2005. Caracterización y normalización de los recipientes de cosecha y empaques de la comercialización de frutas en Colombia. *Cenicafé.*

Romero, L., Sánchez, E., Rivero, R. M. and Ruíz, J. M. 2004. Yield and biosynthesis of nitrogenous compounds in fruits of green bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv Strike) in response to increasing N fertilization. *J. Sci. Food Agric.* 84(6):575-580.

Roth, G. W., Fox, R. H., and Marshall, H. G. 1989. Plant tissue test for predicting nitrogen fertilizer requirements of winter wheat. *Agron. J.* 81:502-507.

Rubio, C. O. A., Brown, P. H. y Weibaum, S. A. 2009. Variación anual, diaria y en el dosel de compuestos nitrogenados en hojas de almendro y nectarina. *Terra* 27:187-196.

Ruíz, J. M. and Romero, L. 1998. Calcium impact on phosphorus and its main bioindicators: response in the roots and leaves of tobacco. *J. Plant Nutr.* 21:2273-2285.

Ruíz, J. M. and Romero, L. 1999. Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Hort Sci.* 82:309-316.

Ruíz, J. M., and Romero, L. 2002. Relationship between potassium fertilization and nitrate assimilation in leaves and fruits of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Assoc. Appl. Biol.* 140:241-249.

Ruíz, J. M., Castilla, N. and Romero, L. 2000. Nitrogen metabolism in pepper plants applied with different bioregulators. *J. Agric. Food Chem.* 48:2925-2929.

Ryota, T., Hiroshi, K., Norikuni, O., Kuni, S. and Takuji, O. 2008. Absorption and translocation of nitrogen in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants using the ¹⁵N tracer technique, *Soil Sci. Plant Nutr.* 54:108-117.

Sah, R. N. 1994. Nitrate nitrogen determination: a critical review. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 25:2841-2869.

Salazar, M. R., Chaves, B., Jones, J. and Cooman, A. 2005. Modelo potencial de producción de uchuva (*Physalis peruviana* L). Memorias del XXXV Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal: 26.

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.

Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J. F., Lesaint, C. and Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.

Sanabria, S. 2005. Situación actual de la uchuva en Colombia. Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia. Unibiblos. Universidad Nacional. Facultad de Agronomía. Página 20.

Sánchez, E., Soto, J. M., Nuñez, A., Ruíz, J. M. y Romero, L. 2005. Biosynthesis of non-structural carbohydrates and their distribution in greenbean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Strike): deficiency vs toxicity of nitrogen. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 28:55-61.

Sánchez, E., Soto, J. M., Ruíz, J. M. y Romero, L. 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencias vs toxicidad de nitrógeno. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:187-195.

Sandhu, A. S., Singh, S. N., Minhas, P. P. S. and Grewal, G. S. 1989. Rhizogenesis of shoot cuttings of raspberry (*Physalis peruviana* L.). *Indian J. Hortic.* 46:376-378.

Sandoval, V. M., Alcántar G. G., Tirado, T. J. L. and Aguilar, S. A. 1992. Effect of the $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. *J. Plant Nutr.* 15:2545-2557.

Sanjinés, A., Ollgaard, B. y Balslev, H. 2006. Frutos comestibles. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 557 p.

Scaife, A. and Turner, M. K. 1987. Field measurements of sap and soil nitrate to predict nitrogen top-dressing requirements of brussels sprout. *J. Plant Nutr.* 10:1705-1712.

Schortemeyer, M., Stamp, P. and Feil, B. 1997. Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. *An. Bot.* 79:25-30.

Sellstedt, A. 1997. Physiology of nitrogen fixing Casuarina Frankiasymbiotic association. *In: Srivastava, H. S.; Rana, P. S. (eds.). Nitrogen Nutrition and Plant Growth.* Science Publishers. Enfield, USA. pp. 173-204.

Shelp, B. J. 1987. Plant characteristics and nutrient composition and mobility of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italic*) supplied with NH_4^+ , NO_3^- or NH_4NO_3 . *J. Exp. Bot.* 38:1603-1618.

Shinano, T., Osaki, M., and Tadano, T. 1991. Effect of nitrogen application on the reconstruction of nitrogen compounds during the maturation stage in several field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37:259-270.

Siddiqi, M. Y., Malhotra, B., Min, X., and Glass, A. D. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165:191-197.

Sinclair, T. R., and Shiraiwa, T. 1993. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Sci.* 33:808-812.

Sivasankar, S. and Oaks, A. 1996. Nitrate assimilation in higher plants: the effect of metabolites and light. *Plant Physiol. Biochem.* 34:609-620.

Smeal, D. and Zhang, H. 1994. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 25:1495.

Smith, F.W., 1986. Interpretation of Plant Analysis: Concepts and principles. *In: Reuter, D. J. and J. B. Robinson. (eds.). Plant Analysis: An Interpretation Manual.* Inkata Press, Melbourne and Sydney. pp. 1-12.

Smith, R. L., Mills, H. A., Hoveland, C. S., and Hanna, W. W. 1990. Influence of ammonium: nitrate ratios on the growth and nitrogen uptake of pearl millet. *J. Plant Nutr.* 13:541-553.

Srivastava, H. S. and Singh, R. P. 1999. Nitrogen Nutrition and Plant Growth. Science Pub. Enfield, New Hampshire, USA.

Stitt, M. 1999. Nitrate regulation of metabolism and growth. *Curr. Op. Plant Biol.* 2:178-186.

- Strada, R. A., Echeverría, H. E. y Studdert, G. A. 2000. Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en pseudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 18:64-68.
- Suchartgul, S., Maneepong, S. and Issarakrisila, M. 2012. Establishment of Standard Values for Nutritional Diagnosis in Soil and Leaves of Immature Rubber Tree. *Rubber Thai J.* 1:19-31.
- Tadano, T. and Tanaka, T. 1976. Composition of adaptability to ammonium and nitrate among crop plants (Part I). Selective absorption between and responses to ammonium and nitrate of crop plants during early growth stage--Studies on the comparative plant nutrition. *J. Sci. Soil Manure Jpn.* 47:321-328.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associated. Sunderland, USA. 792 p.
- Tapia, M. E., y Fries, A. M. 2007. *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO. Roma. ANPE. Lima. Perú.
- Tatsumi, J. and Kono, Y. 1980. Nitrogen uptake and transport by the intact root system of rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.* 49:349-358.
- Tatsumi, J., Okano, K. and Kono, Y. 1993. Translocation of carbon and nitrogen from mature leaves to the root system of vegetative wheat: Simultaneous feeding of gaseous $^{13}\text{CO}_2$ and $^{15}\text{NH}_3^+$ to single leaves. *Sci. Rept Fac. Agr. Kobe Univ.* 20:149-160.
- Taylor, B. K. and Van den Ende, B. 1969. The nitrogen nutrition of the peach tree. IV. Storage and mobilization of N in mature trees. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 869-881.
- Taylor, O. K. 1967. Storage and mobilization of nitrogen in fruit trees: A Review. *The Australian Inst. Agric. Sci. Jour.* 33:23-29.
- Thenabadu, M. W. 1972. Evaluation of the nitrogen nutrition status of rice by plant analysis. *Plant and Soil* 37:41-48.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. and Havlin, J. L. 2002. *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall, New Delhi, India.
- Ulrich, A. and Hills, F. 1967. Principles and practices of plant analysis. *In: Hardy, G.W. et al. (eds.). Soil Test and Plant Analysis, Part II.* Soil Sci. Soc. Am. Special Pub. No. 2. pp.1-24.

Valdés, A., Marti, L., Filippini, M. F. y Salcedo, C. 2004. Determinación de Nitratos en Vegetales. Comparación de Cuatro Métodos Analíticos. Revista Facultad Ciencias Agrícolas UNCuyo XXXVI(1):21-28.

Van der Boon, J., Steenhuizen, J. W. and Steingrover, E. G. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. J. Hortic. Sci. 65:309-321.

Velásquez, H. J. C., Giraldo, O. H. B., y Arango, S. A. P. 2007. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60(1): 3785-3796.

Viglezzi, A., Studdert, G. A. y Echeverría, H. E. 1996. Nitratos en pseudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. Ciencia del Suelo 14: 57-62.

Vitosh, M. L. and Silva, G. H. 1996. Factors affecting potato sap nitrate tests. Com. Soil Sci. Plant Anal. 27:1137-1152.

Vollbrecht, P., Klein, E. and Kasemir, H. 1989. Different effects of supplied ammonium on glutamine synthetase activity in mustard (*Sinapis alba*) and pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. Physiol Plant. 77:129-135.

Von Liebig, J. 1841. The organic chemistry and its application on agriculture and physiology. Verlag Viehweg, Braunschweig. 167 pp.

Walworth, J. L. and Sumner, M. E. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Adv. Soil Sci. 6:149-188.

Wang, X. T. and Below, F. E. 1992. Root growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed-nitrogen source. Crop Sci. 32:997-1002.

Wang, X. T. and Below, F. E. 1996. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source. Crop Sci. 36:121-126.

Waterer, D. 1997. Petiole sap $\text{NO}_3\text{-N}$ testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. Can. J. Plant Sci. 77:273-278.

Westcott, M. P. and Knox, M. I. 1994. Kinetics of soil-plant nitrate relations in potato and peppermint: a model for derivative diagnosis. Com. Soil Sci. Plant Anal. 25:469-478.

Wiesler, F. 1997. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 160:227-238.

- Wilcox, G. E., Magalhaes, J. R. and Silva, F. L. I. M. 1985. Ammonium and nitrate concentrations as factors in tomato growth and nutrient uptake. *J. Plant Nutr.* 8:989-998.
- Wolf, B. 1982. A comprehensive system of leaf analyses and its use for diagnosing crop nutrient status. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 13:1035-1059.
- Woodall, J., Boxall, J. B., Forde, B. G. and Pearson, J. 1996. Changing perspectives in plant nitrogen metabolism: The central role of glutamine synthetase. *Sci. Prog.* 79:1-26.
- Woolhouse, H. W. and Hardwick, K. 1966. The growth of tomato seedlings in relation to the form of the nitrogen supply. *New Phytol.* 65:518-526.
- Wright, M. J. and Davidson, K. L. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 16:197-247.
- Wu, S. J., Ng, L. T., Huang, Y. M., Lin, D. L., Wang, S. S., Huang, S. N., and Lin, C. C. 2005. Antioxidant activities of *Physalis peruviana*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 28:963-966.
- Yao, W. X., Feng, Y., Zhu, Y. C., Tian and Cao, W. X. 2007. A non-destructive and real-time method of monitoring leaf nitrogen status in wheat. *New Zeland J. Agric. Res.* 50:935-942.
- Zhang, H., Smeal, D., Arnold, R. N., and Gregory, E. J. 1996. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. *J. Plant Nutr.* 19:1405-1412.
- Zornoza, P. and Carpena, O. 1992. Study on ammonium tolerance of cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 15:2417-2426.

IX. APENDICE

Cuadro 1A. Instalación y conducción del experimento.

Momento	Actividad	Descripción
16-18/06/2012	1ra. Poda	Las plantas podaron a una altura de aproximadamente 10 cm de altura para favorecer la emisión de nuevos brotes.
30/06/2012	2da. Poda	Los nuevos rebrotes (tallos) se eliminaron con la finalidad de agotar reservas en el sistema de raíces de la planta.
30/06/2012	Cambio de Bolsa	El cepellón de las plantas se colocó en bolsa nueva, perforada, de polietileno 35 x 35 cm.
10/07/2012	3ra. Poda	Se dejó un brote por planta, con crecimiento uniforme, de una altura de 20 cm y sin daños.
11/07/2012	S. de Riego	Se colocó el sistema en espagueti con un gotero por planta. Se aplicaron 4 riegos de 15 minutos cada uno.
15/07/2012	Tratamientos	Se aplicaron los tratamientos a las plantas sometidas a poda y las de semilla.
01/08/2012	Tutorio	Se realizó cuando la planta tenía aproximadamente 50 cm de altura.
23/08/2012	1er. Muestreo	A las 11:00 Horas. Se colectó la tercera hoja recientemente madura (sin daños y de apariencia "normal").
17/09/2012	2do. Muestreo	Se colectaron 3 hojas recientemente maduras a las 11:00 horas.
10/10/2012	3er. Muestreo	Se colectaron 4 hojas recientemente maduras a las 11:00 horas.
31/10/2012	4to. Muestreo	Se colectaron 4 hojas recientemente maduras a las 11:00 horas.
15/07/2012	S. Nutritiva	Se preparó nueva solución cada mes a partir del inicio de la investigación y hasta el cuarto mes.
07/09/2012	A. N-Total	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
14/09/2012	A. N-Nitrico	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
28/09/2012	A. N-Reducido	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
19/10/2012	A. N-Total	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
9/10 y 9/11 de 2012	A. N-Nitrico	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
28/09/2012	A. N-Reducido	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
30/01/2013	A. N-Total	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
26/2 y 6/3 de 2013	A. N-Nitrico	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
08/02/2013	A. N-Reducido	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
20/05/2013	A. N-Total	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
25/05/2013	A. N-Nitrico	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
08/05/2013	A. N-Reducido	Realizado conforme a Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).
30/07/2012	A. Pesticidas	Se aplicó Thiomet® (Endosulfan) a dosis de 2 mL de P.C L ⁻¹ agua para el control de <i>Lema trilineata</i> .

Cuadro 2A. Correlación N-total vs N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	ddt	39 ddt		64 ddt		87 ddt		108 ddt		General	
	Variable	N-total									
100/0	N-NO ₃ ⁻	-0.414 (0.124)	ns	-0.038 (0.892)	ns	0.211 (0.448)	ns	0.442 (0.098)	ns	0.095 (0.468)	ns
	N-Reducido	-0.049 (0.859)	ns	-0.501 (0.056)	ns	-0.302 (0.273)	ns	-0.448 (0.093)	ns	-0.228 (0.078)	ns
75/50	N-NO ₃ ⁻	0.280 (0.310)	ns	0.479 (0.070)	ns	-0.236 (0.395)	ns	0.096 (0.731)	ns	0.321 (0.012)	ns
	N-Reducido	-0.186 (0.505)	ns	-0.426 (0.113)	ns	-0.024 (0.929)	ns	-0.115 (0.680)	ns	0.107 (0.411)	ns
50/50	N-NO ₃ ⁻	-0.024 (0.930)	ns	0.133 (0.634)	ns	-0.148 (0.598)	ns	0.119 (0.672)	ns	0.050 (0.701)	ns
	N-Reducido	0.074 (0.791)	ns	-0.423 (0.115)	ns	-0.189 (0.498)	ns	0.196 (0.483)	ns	0.161 (0.218)	ns

ddt; días después de aplicado el tratamiento, ns; no significativo. Para probar Ho: $\rho=0$ vs Ha: $\rho\neq 0$.

Cuadro 3A. Correlación N-total vs N-NO₃⁻ y N-reducido en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	ddt	64 ddt		87 ddt		108 ddt		General		
	Variable	N-total								
100/0	N-NO ₃ ⁻	0.995 (0.004)	*	0.120 (0.879)	ns	0.710 (0.289)	ns	0.366 (0.241)	ns	
	N-Reducido	-0.314 (0.685)	ns	0.103 (0.896)	ns	-0.572 (0.427)	ns	0.428 (0.164)	ns	
75/25	N-NO ₃ ⁻	-0.778 (0.221)	ns	0.241 (0.758)	ns	0.626 (0.373)	ns	-0.438 (0.153)	ns	
	N-Reducido	0.837 (0.162)	ns	-0.127 (0.872)	ns	-0.303 (0.696)	ns	0.631 (0.027)	ns	
50/50	N-NO ₃ ⁻	-0.700 (0.299)	ns	0.257 (0.742)	ns	0.799 (0.200)	ns	0.085 (0.790)	ns	
	N-Reducido	0.542 (0.457)	ns	0.726 (0.273)	ns	-0.397 (0.602)	ns	0.169 (0.599)	ns	

ddt; días después de aplicado el tratamiento, ns; no significativo, *; significativo (0.05). Para probar Ho: $\rho=0$ vs Ha: $\rho\neq 0$.

Cuadro 4A. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido por muestreo en plantas sometidas a poda.

ddt		39 ddt			64 ddt			87 ddt			108 ddt													
NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	N-total	N-NO ₃	N-red.	N-total	N-NO ₃	N-red.	N-total	N-NO ₃	N-red.	N-total	N-NO ₃	N-red.												
100/0	4.80	a ^z	0.36	a	1.24	b	4.94	a	0.21	a	1.37	a	4.16	a	0.46	a	0.97	a	3.80	a	0.13	a	1.36	a
75/25	4.67	a	0.36	a	1.59	a	5.08	a	0.31	a	1.37	a	4.04	a	0.23	a	0.94	a	3.34	a	0.16	a	1.10	b
50/50	4.79	a	0.27	a	1.41	b	4.83	a	0.19	a	1.67	a	3.91	a	0.31	a	0.96	a	3.30	a	0.13	a	1.24	ab
DMS (0.05)	0.52		0.14		0.18		0.50		0.16		0.44		0.62		0.30		0.25		0.73		0.05		0.20	
CV (%)	12.20		45.28		14.05		11.23		77.22		33.34		16.86		101.39		28.38		23.25		40.29		18.28	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Cuadro 5A. Promedio de tratamientos sobre la concentración de N-total, N-NO₃⁻ y N-reducido por muestreo en plantas de semilla.

ddt		64 ddt			87 ddt			108 ddt										
NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	N-total	N-NO ₃	N-red.	N-total	N-NO ₃	N-red.	N-total	N-NO ₃	N-red.									
100/0	5.18	a ^z	0.13	a	0.86	a	4.33	a	0.14	a	0.69	a	4.08	a	0.11	a	0.94	a
75/25	4.90	a	0.07	a	1.10	a	3.55	b	0.12	ab	0.71	a	3.54	b	0.11	a	0.96	a
50/50	4.80	a	0.11	a	1.51	a	4.11	ab	0.11	b	0.57	a	3.76	ab	0.10	a	0.93	a
DMS (0.05)	0.54		0.11		0.68		0.73		0.03		0.32		0.32		0.13		0.36	
CV (%)	5.47		55.44		29.90		9.22		12.62		24.58		4.30		62.69		19.33	

^z; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; diferencia mínima significativa, CV; coeficiente de variación, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Cuadro 6A. Ecuaciones de estimación para las tres variables en plantas sometidas a poda.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Variable	V.I	P.E	R ² P.	R ²	Pr > F	Ecuación predictiva o estimadora
100/0	N-total	ddt	0.20987	0.8082		<.0001	N-Total = 0.20987 ddt + (-0.00232 ddt ²) + 0.00000005986687 ddt ⁴ ; R ² = 0.9778
		ddt ²	-0.00232	0.1585	0.9778	<.0001	
		ddt ⁴	5.99E-08	0.0112		<.0001	
	N-NO ₃ ⁻	ddt	0.00604	0.3861		<.0001	N-NO ₃ ⁻ = 0.00604 ddt + (-0.00000000000032107 ddt ⁶); R ² = 0.5159
		ddt ⁶	-3.21E-13	0.1298	0.5159	2.00E-04	
	N-red.	ddt	0.05597	0.8089		<.0001	N-Reducido = 0.05597 ddt + (-0.00058478 ddt ²) + 0.00000000000133616 ddt ⁶ ; R ² = 0.9232
ddt ²		-0.00058478	0.0822	0.9232	<.0001		
ddt ⁶		1.34E-12	0.0321		<.0001		
75/25	N-total	ddt	0.18863	0.7682		<.0001	N-Total = 0.18863 ddt + (-0.00175 ddt ²) + 0.000000000000214979 ddt ⁶ ; R ² = 0.9641
		ddt ²	-0.00175	0.1888	0.9641	<.0001	
		ddt ⁶	2.15E-12	0.0071		0.0014	
	N-NO ₃ ⁻	ddt	0.01133	0.4572		<.0001	N-NO ₃ ⁻ = 0.01133 ddt + (-0.00009434 ddt ²); R ² = 0.6731
		ddt ²	-0.00009434	0.2159	0.6731	<.0001	
	N-red.	ddt	0.081	0.7019		<.0001	N-Reducido = 0.081 ddt + (-0.00108 ddt ²) + 0.00000003656119 ddt ⁴ ; R ² = 0.9247
ddt ²		-0.00108	0.1748	0.9247	<.0001		
ddt ⁴		3.66E-08	0.048		<.0001		
50/50	N-total	ddt	0.21065	0.7707		<.0001	N-Total = 0.21065 ddt + (-0.00235 ddt ²) + 0.0000000581919 ddt ⁴ ; R ² = 0.9758
		ddt ²	-0.00235	0.1936	0.9758	<.0001	
		ddt ⁴	5.82E-08	0.0115		<.0001	
	N-NO ₃ ⁻	ddt	0.00843	0.4666		<.0001	N-NO ₃ ⁻ = 0.00843 ddt + (-0.00006494 ddt ²); R ² = 0.5927
		ddt ²	-0.00006494	0.1261	0.5927	<.0001	
	N-red.	ddt	0.01098			0.6819	N-Reducido = 0.01098 ddt + 0.00139 ddt ² + (-0.00001948 ddt ³) + 0.00000000000524776 ddt ⁶ ; R ² = 0.901
ddt ²		0.00139		0.9011	0.1601		
ddt ³		-1.95E-05			0.0353		
ddt ⁶		5.25E-12			0.0053		

V. I; variable introducida, P. E; parámetro estimado, R² P; R² parcial, Pr>F; probabilidad, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Cuadro 7A. Ecuaciones de estimación para la variable N-total en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Variable	Variable	Estimado	R ²	Pr>F	Ecuación
100/0	N-Total	ddt	0.3214065	0.984881	<.0001	N-Total = ddt ^{0.3214065}
75/50	N-Total	ddt	0.30690698	0.973319	<.0001	N-Total = ddt ^{0.306907}
50/50	N-Total	ddt	0.33714724	0.985073	<.0001	N-Total = ddt ^{0.3371472}

Pr>F; probabilidad, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

Cuadro 8A. Ecuaciones de estimación para las variables N-NO₃ y N-reducido en plantas de semilla.

NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	Variable	V.I.	P.E.	R ² P.	R ² .	Pr>F	Ecuación
100/0	N-NO ₃ .	ddt	0.0012	0.8071	0.8071	<.0001	N-NO ₃ = 0.0012 ddt; R ² = 0.8071
	N-Reducido	ddt	0.17677	0.6951		0.0004	N-Reducido = 0.17677 ddt + (-0.00361 ddt ²) + 0.00001902 ddt ³ ; R ² = 0.9232
		ddt ³	0.00001902	0.1064		0.00664	
75/25	N-NO ₃ .	ddt	0.00113	0.8386	0.8386	<.0001	N-NO ₃ = 0.00113 ddt; R ² = 0.8386
	N-Reducido	ddt	0.09728	0.8943		<.0001	N-Reducido = 0.09728 ddt + (-0.00188 ddt ²) + 0.00000983 ddt ³ ; R ² = 0.9899
		ddt ³	0.00000983	0.04		0.0002	
50/50	N-NO ₃ .	ddt	0.00265	0.8167		<.0001	N-NO ₃ = 0.00265 ddt + (-0.000000136244) ddt ³ ; R ² = 0.8797
		ddt ³	-1.36E-07	0.063		0.8797	
	N-Reducido	ddt	0.00931	0.9205	0.9205	<.0001	N-Reducido = 0.00931 ddt; R ² = 0.9205

V. I.; variable introducida, P. E; parámetro estimado, R² P; R² parcial, Pr>F; probabilidad, ddt; días después de aplicado el tratamiento.

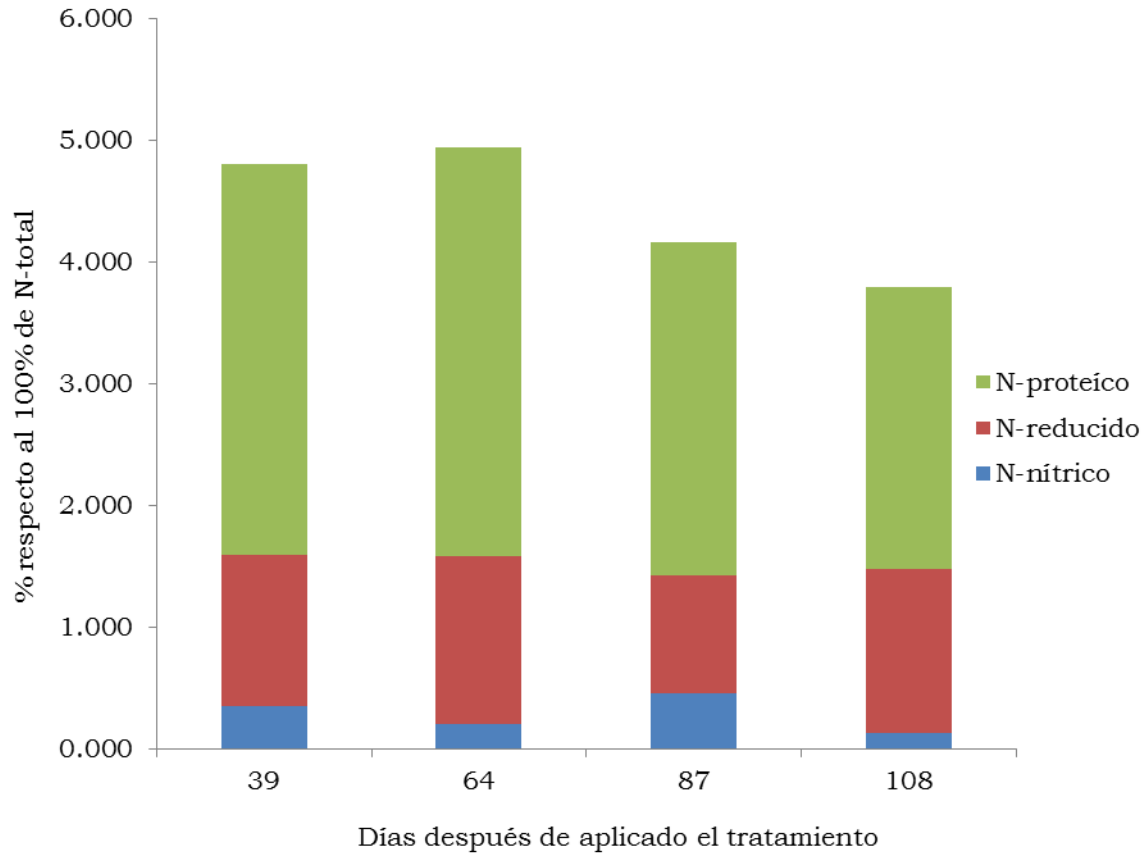


Figura 1A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 100/0 en plantas sometidas a poda.

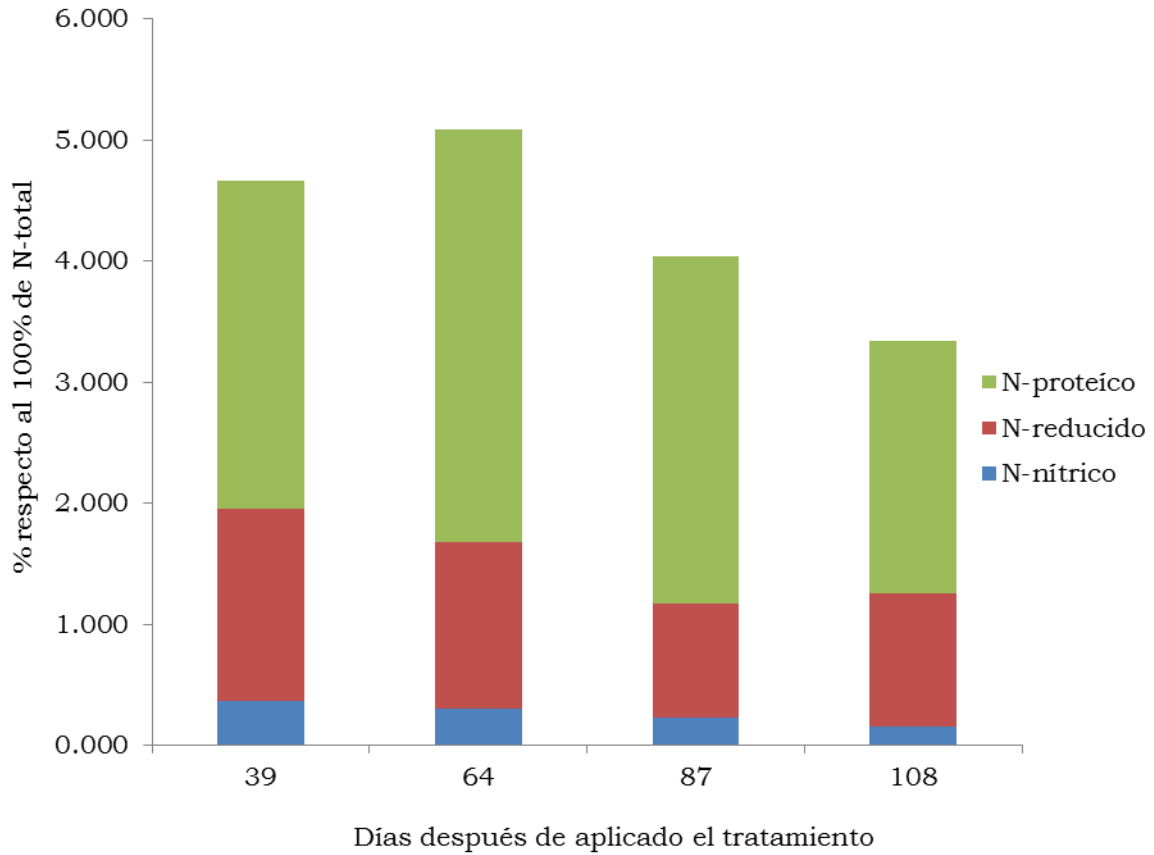


Figura 2A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 75/25 en plantas sometidas a poda.

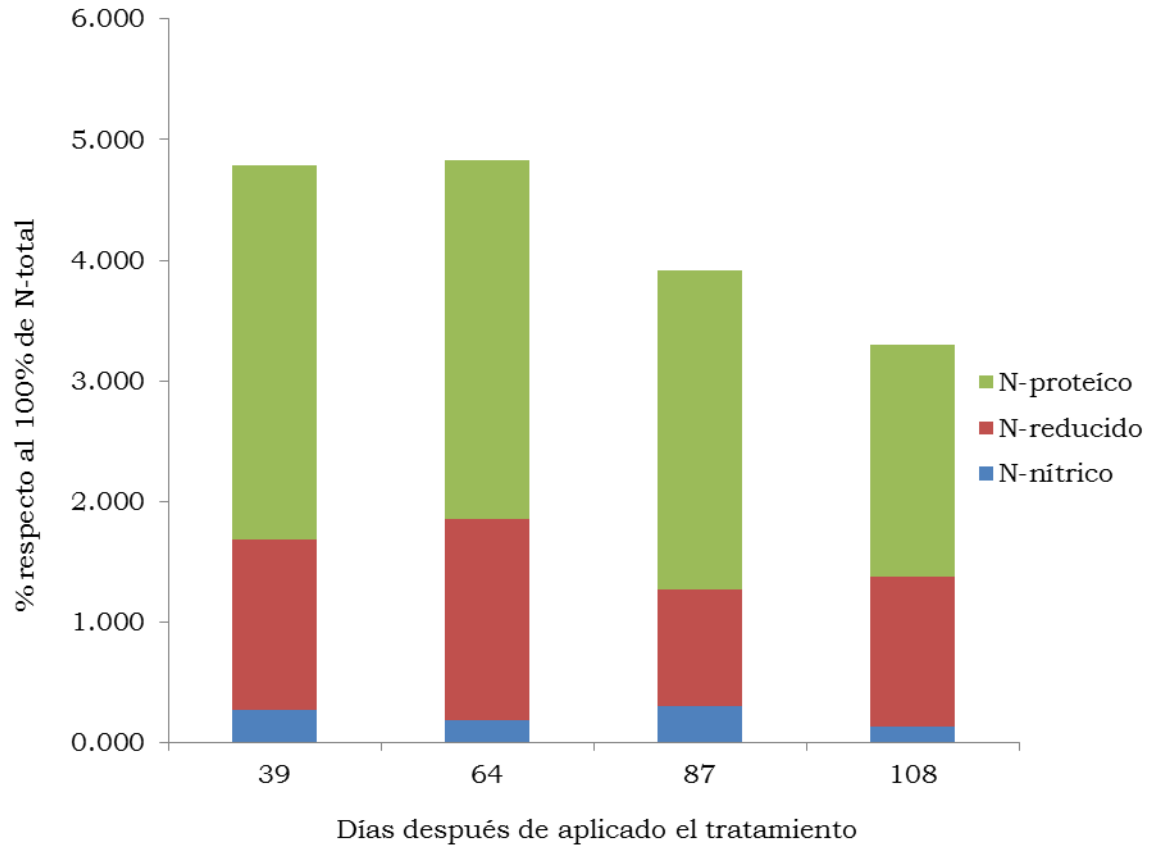


Figura 3A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 50/50 en plantas sometidas a poda.

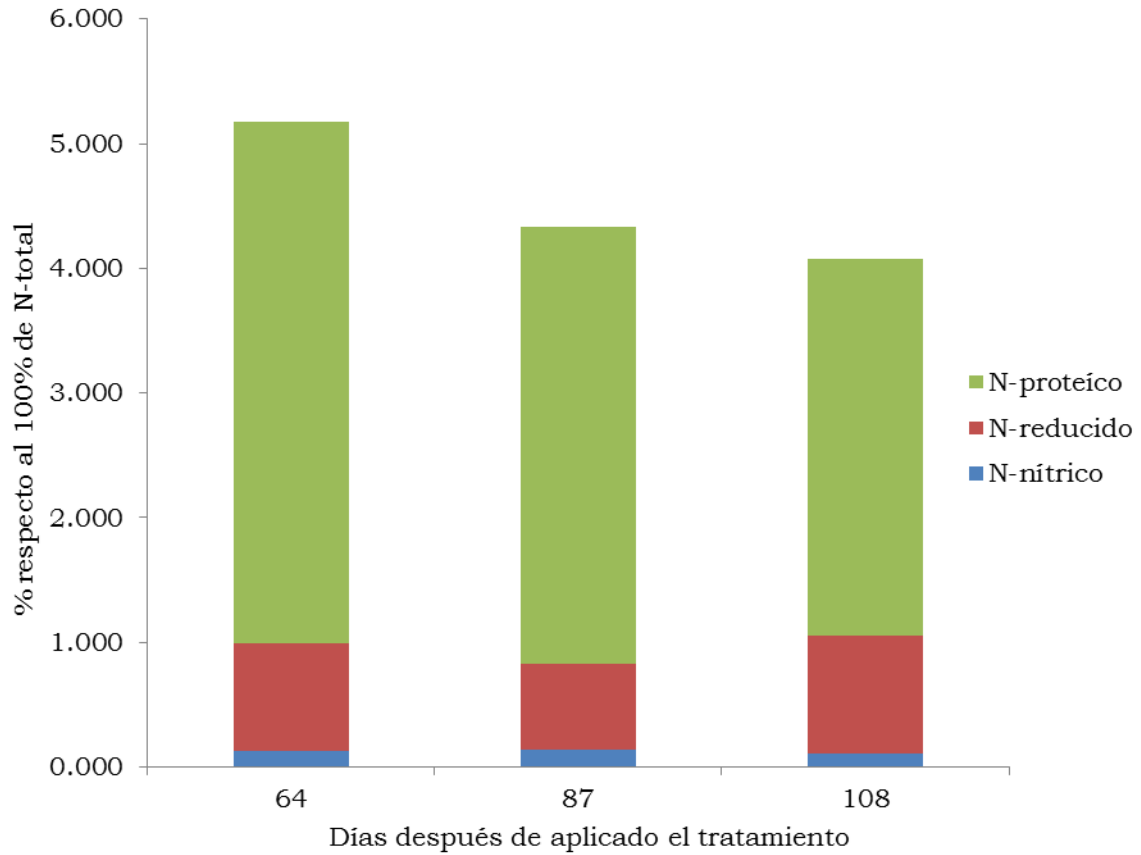


Figura 4A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 100/0 en plantas de semilla.

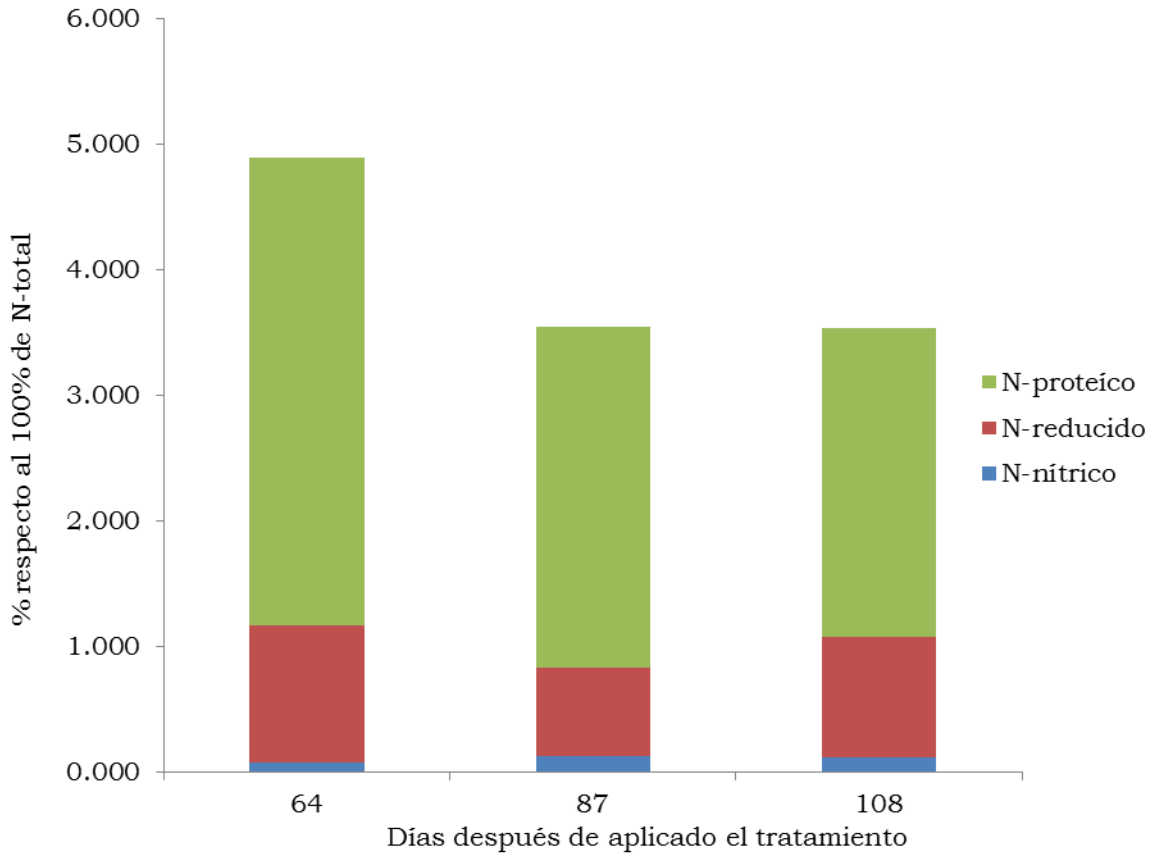


Figura 5A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 75/25 en plantas de semilla.

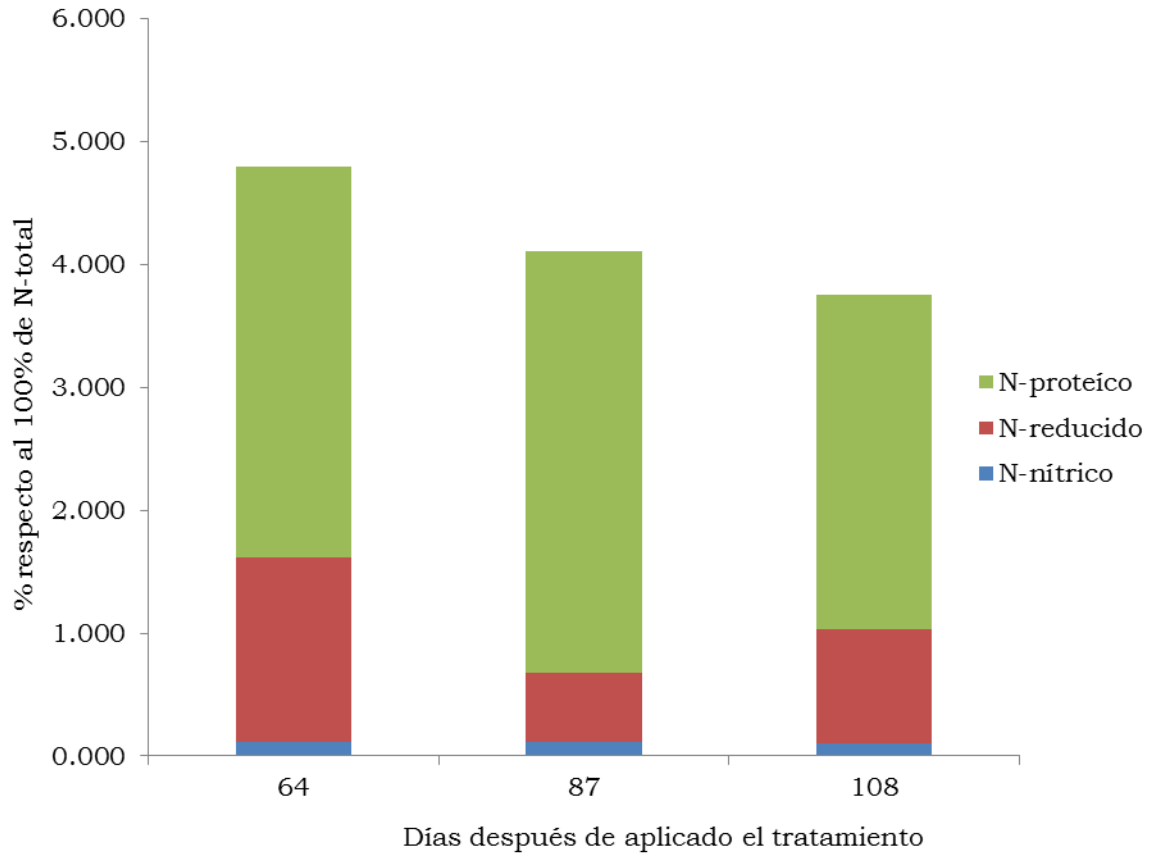


Figura 6A. Contribución y dinámica de las formas nitrogenadas a la variable N-total en el tratamiento 50/50 en plantas de semilla.