

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO INVERNÁCULOS EN LA ZONA
HORTÍCOLA DE SALTO**

por

Daniel Ignacio Silveira Isoardi

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título
de Magíster en Agronomía
Opción Suelos y Aguas

Montevideo

URUGUAY

Noviembre 2018

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. PhD. Amabelia del Pino, Ing. Agr. MSc. Marcelo Ferrando e Ing. Agr. Dr. Esteban Vicente, el 26 de noviembre de 2018. Autor: Ing. Agr. Daniel Silveira. Directora Ing. Agr. PhD. Mónica Barbazán.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo y anuencia de: productores y técnicos partícipes del mismo; del Ing. Agr. Dr. Esteban Vicente con quien se definió en primera instancia la necesidad de esta línea de trabajo; de mi tutora Ing. Agr. PhD. Mónica Barbazán por su dedicación y apoyo en correcciones y aportes; y por último a mi señora por el apoyo incondicional brindado en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO INVERNÁCULOS EN LA ZONA HORTÍCOLA DE SALTO</u>	3
2.1. SUMMARY	3
2.2. RESUMEN	4
2.3. INTRODUCCIÓN	5
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
2.5.1. <u>Características generales de los suelos y prácticas de manejo</u>	11
2.5.2. <u>Propiedades físico - químicas de los suelos</u>	14
2.5.2.1. pH del suelo	15
2.5.2.2. Materia Orgánica	16
2.5.2.3. Nitrógeno mineral en el suelo	16
2.5.2.4. Fósforo	18
2.5.2.5. Cationes	19
2.5.2.6. Conductividad eléctrica	20
2.6. CONCLUSIONES	21
2.7. BIBLIOGRAFÍA	21
3. <u>DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES GLOBALES</u>	27
4. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	28

RESUMEN

La producción hortícola del país abastece al mercado interno, siendo el principal destino el Mercado Modelo ubicado en Montevideo. A grandes rasgos existen dos zonas de producción hortícola, la sur y la norte. Dentro de esta última, el área más importante es la zona hortícola de Salto, especializándose en producción temprana o contra-estación, bajo invernáculos en los meses de invierno y primavera. Estos sistemas de producción se caracterizan por la intensidad en el uso de los recursos suelos y aguas y alta incorporación de tecnologías e insumos.

En el presente trabajo se buscó caracterizar el estado actual de los suelos bajo invernáculos y las tecnologías asociadas a la aplicación y manejo de enmiendas y nutrientes para las condiciones de producción en la zona en cuestión. Coincidiendo con el fin del ciclo de cultivo de tomate, durante los meses de noviembre y diciembre del 2011 se realizaron muestreos de suelo en 30 sitios con cultivo de tomate en invernáculos, analizándose pH, materia orgánica, fósforo disponible, cationes intercambiables y conductividad eléctrica. En cada sitio se recabó información en relación a historia de chacra, rendimiento, labores, fertilización y manejo de enmiendas. Del estudio surge que en la mayoría de los sitios un mes previo al trasplante se incorporó al suelo enmienda orgánica y material verde de cultivo anterior o sorgo variando las aplicaciones entre 20 y 82 t ha⁻¹. En todos los sitios se aplicaron fertilizantes químicos al trasplante y a través del fertirriego. El efecto de estos manejos se evidenció en parte en aumentos en niveles de P disponible, pH y MO.

Del presente trabajo surgen interrogantes sobre las cuales profundizar en cuanto a manejo de suelo, enmiendas orgánicas y fertilización de cultivos.

Palabras clave: suelo, agua, enmienda, fertirriego.

CHARACTERIZATION OF SOILS UNDER GREENHOUSES CONDITIONS IN SALTO

HORTICULTURE ZONE

SUMMARY

The horticultural production of the country supplies the domestic market, being the main destination the “Mercado Modelo”, located in Montevideo. Roughly speaking, there are two zones of horticultural production, the south and the north. Within the northern zone, the most important area is the Salto horticultural zone, specializing in early production or off-season, under greenhouses in the winter and spring months. These production systems are characterized by intensive use of soil and water resources and high incorporation of technologies and supplies.

In the present work, it is intended to characterize the current status of the soils under greenhouses and the technologies associated with the application and management of amendments and nutrients for the production conditions in the area in case. Coinciding with the end of the tomato crop cycle, during the months of November and December 2011, soil samples were taken at 30 sites with greenhouse tomato cultivation; analyzing pH, % of organic matter, available phosphorus, interchangeable cations and electrical conductivity. In each site, information was collected in relation to farm history, yield, farming, fertilization and handling of amendments. From the survey it appears that in most of the sites, organic amendment and mass crops from previous cultivation or sorghum were incorporated into the soil a month before the transplant, varying the applications between 20 and 82 t ha⁻¹. In all the sites, chemical fertilizers were applied to the transplant and through fertigation. The effect of these managements was evidenced in part in increases in levels of available P, pH and OM.

From this work arise questions on which to deepen in terms of soil management, organic amendments and crop fertilization.

Keywords: soil, water, amendment, fertigation.

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la horticultura protegida se encuentra ubicada principalmente en Salto, aunque también puede encontrarse en menor medida en zonas aledañas a las ciudades de Bella Unión y Paysandú. Esta se caracteriza por producir cultivos contra-estación (productos de primor) durante los meses de invierno y primavera. Los mejores precios obtenidos justifican los altos costos de producción, debido a las estructuras de protección, material genético de alto rendimiento, tecnologías de aplicación de insumos y costos de transporte de más de 500 km de distancia. Si bien la zona norte representa el 21 % del área total dedicada a horticultura en el país, su producción neta es el 39 % de la producción nacional total. Esto se explica principalmente por la intensificación de la producción bajo cobertura, ya que el 81% de la superficie total bajo cubierta (aproximadamente 534 ha) se encuentra en la zona norte, dentro de la cual el 76% se realiza bajo plástico (DIEA y DIGEGRA, 2010).

La producción del norte del país es la que aporta el mayor volumen de hortalizas protegidas y se orienta fundamentalmente a la producción de hortalizas de fruto, entre las cuales los cultivos principales son el tomate y el morrón (DIEA y DIGEGRA, 2010). Dentro del volumen total de producción, el tomate es el cultivo más importante y su principal destino es el consumo en fresco (tomate de mesa), representando el 86 % de la cosecha. El resto se destina a la industria (DIEA y DIGEGRA, 2010).

En el año 2009 la producción de tomate en contra - estación fue de 21,6 mil toneladas, lo que significa el 69% de la oferta total de tomate de mesa, con un rendimiento promedio para esta zona 150 t ha^{-1} (DIEA y DIGEGRA, 2010).

Los suelos dominantes en estos sistemas son de textura franco arenosa. Generalmente estos suelos reciben materiales orgánicos para mejorar propiedades físicas y como medio de esterilización. Estos agregados, sin embargo, se realizan sin tener pautas claras. Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo es conocer el

estado de estos suelos en producción bajo invernáculos y analizar los resultados en función de las medidas de manejo llevadas a cabo en los mismos.

Los objetivos específicos fueron: a) caracterizar la situación de producción y manejo de enmiendas orgánicas y nutrientes en invernáculos con cultivo de tomate de la zona hortícola de Salto y b) obtener información relevante para futuros trabajos de investigación en relación al manejo de suelos y enmiendas en este tipo de producción.

Para esto se presenta en formato de artículo científico el estudio realizado para evidenciar las distintas prácticas de manejo del suelo. Dicho artículo de difusión cumple con las normas de la Revista Agrociencia Uruguay, que se encuentra en el sitio: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/>.

2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO INVERNÁCULOS EN LA ZONA HORTÍCOLA DE SALTO

Silveira Daniel^{1*}, Barbazán Mónica²

¹Encargado Regional Salto, División Suelos y Aguas, Ministerio Ganadería, Agricultura y Pesca, Av. J. Artigas 992, Salto 50000, Uruguay

²Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. E. Garzón 780, Montevideo 12900, Uruguay

*Autor de correspondencia: Daniel Silveira

Correo electrónico: dsilveiraisoardi@gmail.com

2.1. SUMMARY

The objective of this study was to characterize the nutritional status of soils in tomato crops under greenhouses of the horticultural zone of Salto. For this, 30 greenhouses were selected with commercial tomato crops, representative of the area. During November and December 2011, composite samples of soils were taken, for their chemical and physical characterization. This date coincides with the end of crop cycle. Also, in each site information was collected on aspects related to the history of crop management and the fruit yield achieved for that harvest. From the survey, chemical fertilizers were applied at all sites, both at the time of transplanting and through fertigation. In most of the sites, organic amendments were applied, with the quantities applied on average of 50 t ha⁻¹ on a dry basis. The organic amendment most frequently applied was forest mulch. Regarding the properties of the soil, an increase in pH values was observed associated with years of cultivation under greenhouse, high availability of N, P and K and high values of CE. In addition, at the depth of 20 to 40 cm of profile, was observed a range between 6 a 171 mg kg⁻¹ de mineral N. The information can serve as a basis to delineate aspects in which to deepen for a rational management of amendments and nutrients.

Keywords: soil, water, amendment, fertigation.

2.2. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar el estado nutricional de suelos en cultivos de tomate bajo invernáculos de la zona hortícola de Salto. Para ello se seleccionaron 30 invernáculos con cultivos comerciales de tomate, representativos de la zona. Durante noviembre y diciembre de 2011 se tomaron muestras compuestas de suelos, para su caracterización química y física. Esta fecha coincide con el fin del ciclo de cultivo. Además, en cada sitio se recabó información de aspectos relacionados con la historia de manejo del cultivo y el rendimiento en fruto logrado para esa zafra. Del relevamiento surge que en todos los sitios se aplicaron fertilizantes químicos, tanto al momento del transplante como a través del fertirriego. En la mayoría de los predios, se aplicaron enmiendas orgánicas, siendo las cantidades aplicadas en promedio de 50 t ha^{-1} en base seca. Estas fueron incorporadas al suelo aproximadamente un mes antes del transplante del cultivo de tomate. La enmienda orgánica más frecuentemente aplicada fue el mantillo de bosque. En cuanto a las propiedades del suelo, se observó un aumento en valores del pH asociado a años de cultivo bajo invernáculo, alta disponibilidad de N, P y K y valores altos de CE. Además, a la profundidad de 20 a 40 cm del perfil se observó un rango entre 6 a 171 mg kg^{-1} de N mineral.

La información reportada puede servir de base para delinear aspectos en los cuales profundizar para un manejo racional, tanto de enmiendas como de nutrientes.

Palabras clave: suelo, agua, enmienda, fertirriego.

2.3 INTRODUCCIÓN

La horticultura protegida del litoral norte de Uruguay se encuentra localizada mayoritariamente en los alrededores de la ciudad de Salto, teniendo presencia también en Bella Unión, Constitución, Belén y Paysandú.

La herencia cultural de inmigrantes portugueses e italianos y las condiciones agroecológicas fueron las razones por las cuales se estableció el rubro en esta zona. El principal objetivo de este sistema de producción es la primicia o contra - estación (productos de “primor”), abasteciendo al mercado de Montevideo durante los meses de invierno y primavera. Los mayores precios obtenidos al producir en este período ameritan los altos costos productivos, derivados del uso de estructuras de protección, híbridos y variedades de alto rendimiento, tecnología de riego, fertilizantes y agroquímicos y el traslado de la mercadería (más de 500 km). Esto ha llevado a que si bien el área ocupada es menor, la zona norte representa una proporción importante de la producción hortícola nacional.

En estos sistemas dominan los suelos franco arenosos derivados de la Formación Salto, los cuales se caracterizan en su estado prístino por un bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), bajo contenido de nutrientes y pH inferiores a 6,0 (Cuadro 1). Sin embargo, estos parámetros pueden haber sido modificados por un uso intensivo del recurso suelo, con cultivos muy extractivos y períodos sin cultivos (barbechos) muy cortos. Las características del cultivo, realizado bajo estructuras fijas, sumado a una reducida superficie explotada dificultan la implementación de prácticas de recuperación de suelos, como es la rotación de cultivos. Para mejorar algunas propiedades físicas y como componente de la biofumigación, anualmente en este tipo de producción se aplican altos volúmenes de enmiendas orgánicas y restos vegetales.

Cuadro 1. Características de un Argisol Dístrico. Ócricos / Melánicos típicos a abruptos Ar. Hidromórficos (húmicos).

Argisol Dístrico Ócrico/melánicos típicos/ a abruptos Ar. Hidromórficos (húmicos)						
Hori- zonte	Espesor cm	Colores	Textura	pH	M.O. ⁺⁺⁺ %	C.I.C. ⁺⁺⁺⁺ cmol kg⁻¹
A	30/40	Pardo grisáceo	FAr [†]	5,0 / 6,3	1,5 / 0,6	4 – 10
Bt	60/74	Gris oscuro / Gris muy oscuro	AcAr/FAcAr ^{††}	5,8 / 7,8	0,6 / 0,4	17 – 25

[†] Franco Arenoso

^{††} Arcillo Arenoso / Franco Arcillo Arenoso

⁺⁺⁺ Materia Orgánica

⁺⁺⁺⁺ Capacidad de Intercambio Catiónico

Fuente: Mara, Doti y Secondi, 1980.

En diferentes países y regiones, el cultivo de hortalizas en invierno bajo invernáculos ha sido adoptado como una buena práctica productiva. Las bajas temperaturas en invierno limitan el rendimiento en la mayoría de los cultivos incluyendo diferentes especies hortícolas (Nakano, Yamauchi y Uehara, 2003; Darwish, Atallah y Moujabber, 2005).

En otras regiones, numerosos trabajos demuestran el impacto de la agricultura bajo invernáculos en la dinámica de nutrientes, acidificación y/o acumulación de sales en el suelo, así como la importancia de la alternancia con períodos de producción a cielo abierto y el potencial efecto en el medio ambiente (Zuo, Ren y Zhang, 2007; Shi, Yao y Yan, 2009; Yu, Li y Zhang, 2010; Zhao, Shi y Chen, 2011; Hu, Song y Lu, 2012; Liu, Li y Liu, 2013; Wang, Zhan y Tang, 2015; Hannam, Kehila y Millard, 2016; Zikeli, Deil y Möller, 2017).

Por otro lado si se compara la producción intensiva de hortalizas con la de otros cultivos extensivos como cereales y oleaginosos, los cultivos hortícolas demandan

un mayor grado de incorporación de tecnologías y mayor utilización de fertilizantes e insumos, además de alcanzarse diferentes rendimientos. Por ejemplo, los niveles de producción promedio en kg ha^{-1} de un cultivo de trigo y tomate en nuestro país, son 3.610 kg ha^{-1} y $128.000 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (DIEA, 2016).

Debido a la exploración radicular superficial característica del cultivo de tomate, para obtener altos rendimientos bajo invernáculo, generalmente se realiza una sobre - fertilización que resulta en una acumulación de nutrientes en el suelo, como se demuestran en otras regiones del mundo (Shi, Yao y Yan, 2009; Wang, Zhang y Tang, 2015; Zhao, Shi y Chen, 2011). Otros inconvenientes que puede ocasionar la sobre - fertilización son la acidificación de suelo, acumulación de sales, desbalances de nutrientes y el alto riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por posibles lavados de nutrientes. Investigaciones recientes han revelado que excesivas fertilizaciones nitrogenadas en cultivos hortícolas bajo invernáculos, mayores a 1000 kg ha^{-1} de N, donde menos del 10 % de este es recuperado o absorbido por los cultivos (Chen, Zhang X y Zhang H, 2004; Zhu, Christie y Li, 2005; Ju, Kou y Zhang, 2006; Hu, Song y Lu, 2012), resultan en grandes pérdidas de N al ambiente, mediante lavado de nitrato, desnitrificación y volatilización de amonio (Ramos, Agut y Lidon, 2002; He, Chen y Jian, 2007).

En cuanto al P, al ser retenido por el suelo, generalmente la acumulación de este se relaciona con el manejo o edad del invernáculo. Las altas fertilizaciones que se repiten año a año, sumado al volumen de enmiendas orgánicas aplicadas inducen a una acumulación de P en el suelo (Chen, Zhang X y Zhang H, 2004; Yang, Li T y Li F, 2010; Hu, Song y Lu, 2012). Este eventualmente podría causar contaminación de aguas superficiales a través del escurrimiento superficial en procesos erosivos o las pérdidas por drenaje (Edmeades, 2003).

Otro perjuicio que puede observarse en el cultivo de tomate ante altos valores de pH es la deficiencia de micronutrientes como Fe, Zn y Mn (Zamalvide y Moltini, 2006).

La conductividad eléctrica (CE) es uno de los parámetros de suelo considerados a nivel global como indicador de cambios en la salinidad de los suelos. Estudios realizados en producción bajo invernáculos (Tanji y Kielen, 2002; Hu, Song y Lu, 2012) indican niveles de sensibilidad a la salinidad para la mayoría de los cultivos hortícolas. Niveles de CE de 2 a 4 dS m⁻¹ puede afectar el rendimiento de cultivos moderadamente sensibles y sensibles, mientras que el rendimiento de la mayoría de los cultivos fueron restringidos por CE de entre 4 a 8 dS m⁻¹. Diversos autores clasifican al tomate y al morrón como moderadamente sensibles a la CE (Shannon y Grieve, 1999; Tanji y Kielen, 2002).

Numerosos trabajos resaltan el efecto benéfico de la utilización de desechos orgánicos en la producción de cultivos. Tal es el caso de la capacidad de liberación lenta de nutrientes (Eghball, 2000; Choi, Lim y Sung, 2014), siendo la materia orgánica la mayor responsable de la formación de agregados del suelo, así como también en la mejora de la capacidad de retención de humedad del suelo. La utilización de enmiendas orgánicas en la agricultura depende de muchos factores, incluyendo las características del mismo, como pueden ser contenido de carbono orgánico, nutrientes y metales pesados, su valor energético, el olor generado por la enmienda, sus beneficios para la agricultura, su disponibilidad y costo de transporte.

Las enmiendas orgánicas afectan las propiedades del suelo de muchas maneras, y estos efectos dependen de características intrínsecas de la enmienda o las consecuencias que pueda tener en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, al agregar enmiendas se inocula al suelo con bacterias y hongos que promueven la actividad biológica del suelo (Siddiqui, Meon y Ismail, 2009; Jain, Sharma y Bhattacharyya, 2014).

Numerosos trabajos hacen énfasis en mejorar el manejo de la fertilización en la producción de hortalizas bajo invernáculos, para realizar un manejo sustentable de

los recursos suelo y agua (Shi, Yao y Yan, 2009; Guo, Liu y Zhang, 2010; Hu, Song y Lu, 2012; Wang, Zhang y Tang, 2015; Adekiya y Agbede, 2016).

Aunque el área hortícola y por ende el tomate como su principal cultivo, ha crecido y se ha intensificado desde su establecimiento en la zona, existe muy poca información de referencia sobre el manejo de nutrientes y el estado actual de suelos hortícolas bajo invernáculos. Por lo tanto, el fin de este trabajo fue conocer el estado de estos suelos en producción bajo invernáculos y analizar los resultados en función de las medidas de manejo llevadas a cabo en los mismos. El objetivo general del estudio fue evaluar el efecto que han tenido las medidas de manejo llevadas a cabo sobre el recurso suelo en cultivos bajo invernáculo. Los objetivos específicos fueron: a) caracterizar las propiedades químicas y físicas de los suelos con cultivos de tomate bajo invernáculos de la zona hortícola de Salto y b) obtener información sobre las medidas de manejo de enmiendas y nutrientes que realizan los productores. Esta información podría ser relevante para futuros trabajos de investigación en relación al manejo de suelos y enmiendas en este tipo de producción.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 30 sitios comerciales con cultivo de tomate bajo invernáculo, ubicados en el cinturón hortícola de la ciudad de Salto, intentando abarcar situaciones representativas de la heterogeneidad en cuanto a años de cultivo y medidas de manejo tales como: aplicación de enmiendas orgánicas, utilización de abonos verdes, solarización, aplicaciones de bromuro de metilo, entre otras. En cada predio, durante los meses de noviembre y diciembre de 2011 se tomaron muestras de suelo del invernáculo más representativo del sistema productivo para su caracterización química y física. Además, se completó un formulario de encuesta al técnico y/o productor sobre aspectos relacionados al manejo e historia del cultivo en curso y en los dos años anteriores. Todos los sitios fueron georreferenciados.



Figura 1. Muestreo de suelos en uno de los sitios: a) de 0 a 20 cm y b) de 20 a 40 cm.

El muestreo de suelo se realizó en el período de noviembre – diciembre, el cual coincide con la finalización del ciclo productivo del cultivo (Figura 1). En todos los casos se tomaron muestras compuestas de unas 10 - 12 tomas de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. En las muestras de 0 a 20 cm se analizaron los siguientes parámetros: pH en agua y KCl, amonio (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-), bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), carbono orgánico, CE, P Bray 1 y textura. En las muestras de 20 a 40 cm se analizó únicamente N-NH_4^+ y N-NO_3^- para evaluar posibles efectos de lavado de N.

La Figura 2 indica la ubicación de los sitios relevados dentro de la zona hortícola de Salto.

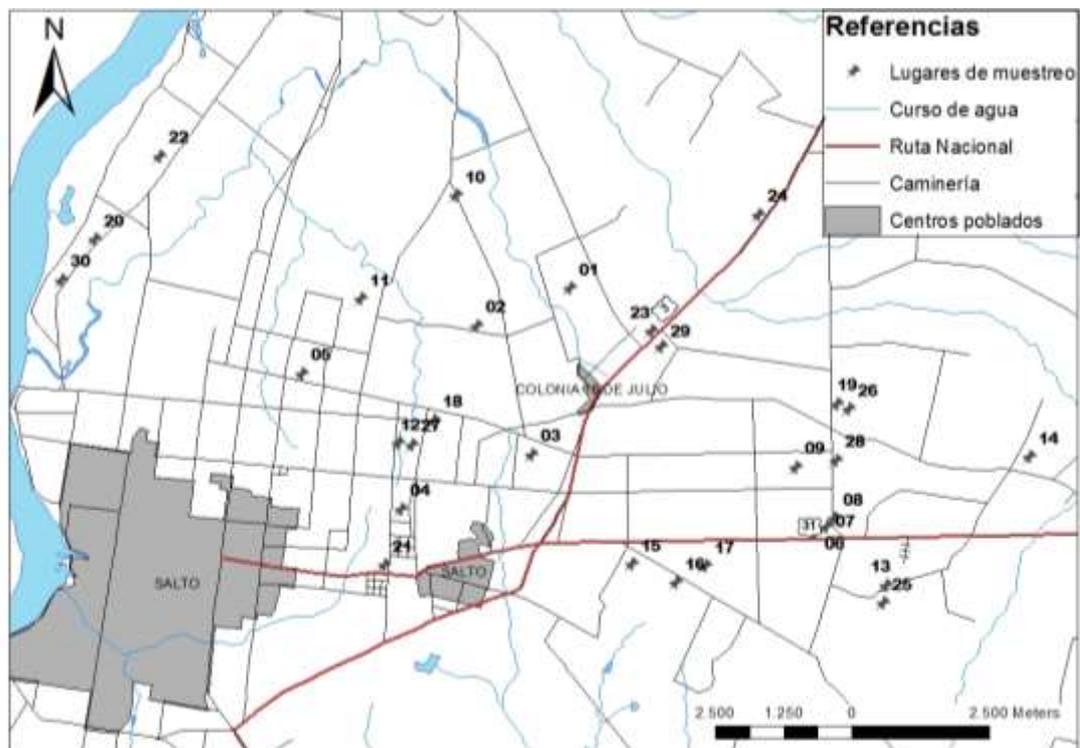


Figura 2. Ubicación de los sitios de estudio.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Características generales de las prácticas de manejo

La superficie total promedio ocupada por invernáculos en los sitios muestreados fue de 10.282 m², con un mínimo de 1.200 m² y un máximo de 30.000 m². La mayoría de los suelos en estos sitios presenta textura arenosa - franca, y en algunos sitios franco - arenosa, con una profundidad de 1,05 m para todo el perfil.

El rendimiento en fruto obtenido para la zafra 2011 en 20 de los 30 sitios que llevan registros fue en promedio de 130 t ha⁻¹, variando de 90 a 190 t ha⁻¹. Dicho promedio está ligeramente por debajo del promedio del cultivo para esta zona, que es de 150 t ha⁻¹, según datos obtenidos en la encuesta hortícola realizada para el litoral norte por DIGEGRA (2010). La variedad más utilizada fue Elpida, la cual se caracteriza por ser precoz, poseer altos rendimientos y un fruto de buenas características en

cuanto a comportamiento post-cosecha, sabor, forma y color, además de presentar mejor comportamiento sanitario.

El promedio de años en los cuales se han realizado cultivos (tomate o morrón) en forma consecutiva en el mismo invernáculo fue de 9 años, con un máximo de 18 años y un mínimo de 2 años.

En todos los invernáculos se aplicaron fertilizantes químicos tanto al transplante como a través del fertirriego.

Las dosis promedio de N, P₂O₅ y K₂O aplicadas a través de fertilización química al transplante fueron de 90, 192 y 242 kg ha⁻¹, respectivamente, siendo una práctica adoptada por todos los productores encuestados. Luego, mediante el fertirriego, la tendencia general fue aplicar nutrientes hasta completar los 400 kg ha⁻¹ de N, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 800 kg ha⁻¹ de K₂O, que se considera requiere un cultivo de tomate para lograr un rendimiento anual de 150 t ha⁻¹ (comunicación de técnicos asesores privados en base a encuesta realizada).

En la mayoría de los invernáculos se realizó incorporación de enmiendas orgánicas y/o material verde del cultivo anterior o de sorgo, salvo un caso donde no se realizó ninguna de estas prácticas (Cuadro 5).

Previo al transplante del cultivo de tomate, salvo en tres sitios, se aplicaron enmiendas orgánicas como mantillo de bosque, abono de corral, sorgo picado y restos del cultivo de morrón. Mantillo de bosque fue la enmienda más usada, en dosis aplicada de entre 20 y 82 t ha⁻¹ en base seca (68 % de MS), con un promedio de 50 t ha⁻¹.

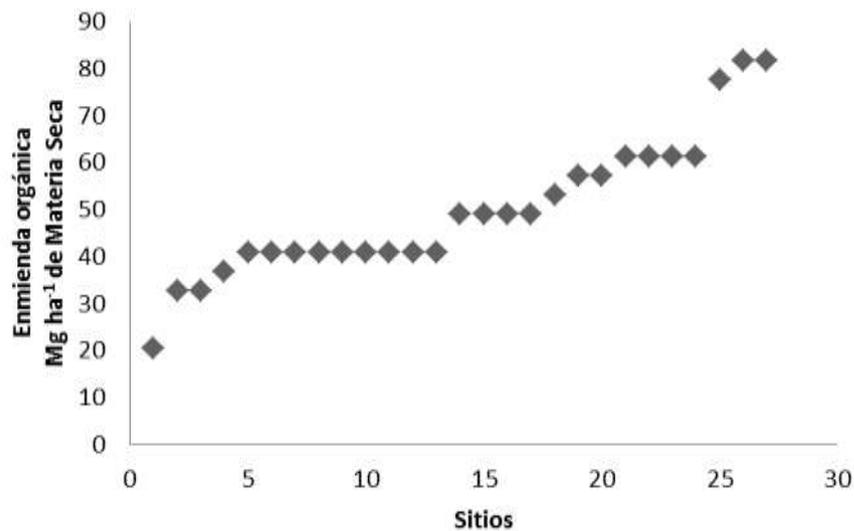


Figura 3. Dosis de enmiendas orgánicas aplicadas en los sitios estudiados.

Se estima que con la dosis promedio de enmiendas orgánicas aplicadas, asumiendo como características del mantillo de bosque (Barbazán, del Pino y Moltini, 2011), una densidad de $0,6 \text{ g cm}^{-3}$, 68 % de materia seca y una concentración en base al total de 1,1 % de N, 0,2 % de P y 0,3 % de K, se estarían aplicando anualmente aproximadamente $545, 227$ y 178 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Si se considera una tasa de mineralización del N y P orgánico de la enmienda del orden de 35 % y del 50 % para N y P, respectivamente, solo con las enmiendas orgánicas se estaría cubriendo aproximadamente la mitad de los requerimientos de N y P y un 20 % de los requerimientos de K.

Cuadro 2. Cantidades totales estimadas de N, P_2O_5 y K_2O aportadas por las enmiendas orgánicas en los sitios en estudio.

	N	P_2O_5	K_2O
	kg ha^{-1}		
Promedio	545	227	178
Máximo	898	373	294
Mínimo	224	93	73

En base a datos publicados por Barbazán, del Pino y Moltini, 2011

2.5.2. Propiedades físico - químicas de los suelos

El Cuadro 3 muestra los resultados analíticos de las muestras de suelos provenientes de los invernáculos muestreados.

Cuadro 3. Análisis estadístico descriptivo de los principales parámetros obtenidos del análisis de muestras de suelo (n=30).

Parámetro	Media	Mediana	Moda	Desvío estándar	Mínimo	Máximo
pH (H ₂ O)	7,33	7,35	7,90	0,60	6,10	8,40
pH (KCl)	6,57	6,70	7,10	0,57	5,50	7,50
Ca (cmol kg ⁻¹)	8,04	7,40	5,20	2,98	3,60	15,70
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,69	1,50	1,20	0,61	0,80	3,10
K (cmol kg ⁻¹)	0,41	0,37	0,37	0,26	0,05	1,15
Na (cmol kg ⁻¹)	0,62	0,55	0,63	0,37	0,20	2,24
Ac.Tit. (cmol kg ⁻¹)	0,68	0,60	0,40	0,34	0,30	1,80
CIC pH 7	11,44	10,75	8,40	3,70	5,60	20,40
% Saturación Bases	93,45	94,50	90,70	3,62	82,80	97,90
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	36	20	#N/A	37	6	161
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	12	7	7	12	2	44
M.O. %	2,00	1,91	2,58	0,57	1,09	3,27
Arena %	82,10	84,00	88,00	8,90	59,00	96,00
Limo %	9,23	8,00	8,00	4,29	2,00	20,00
Arcilla %	8,67	8,00	4,00	5,10	2,00	20,00
CE (dS m ⁻¹)	1,25	1,04	0,80	0,63	0,52	2,93
P Bray I (mg kg ⁻¹)	77	79	55	21	25	137
Años de cultivo en invernáculo	9	9	15	4	2	18

2.5.2.1. pH del suelo

El pH en agua promedio de los sitios analizados fue de 7,3, con un mínimo de 6,1 y un máximo de 8,4 (Cuadro 6). Estos valores indican que este parámetro se ha modificado notoriamente con el uso al que fueron sometidos, comparado con los valores en suelo en condiciones prístinas, de 5,0 – 6,0 (Cuadro 1) (Mara, Doti y Secondi, 1980).

Este aumento en el pH puede atribuirse al manejo del suelo con riego y fertirriego, ya que fue el único parámetro con el cual se encontró una correlación significativa con los años de cultivo bajo invernáculo (r^2 : 0,51). El uso de riego con aguas ricas en bicarbonatos de calcio $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$, con la ausencia de lavado, indirectamente tiene un efecto de encalado del suelo a largo plazo. Esto podría llevar a deficiencias de micronutrientes como hierro y zinc para los cultivos.

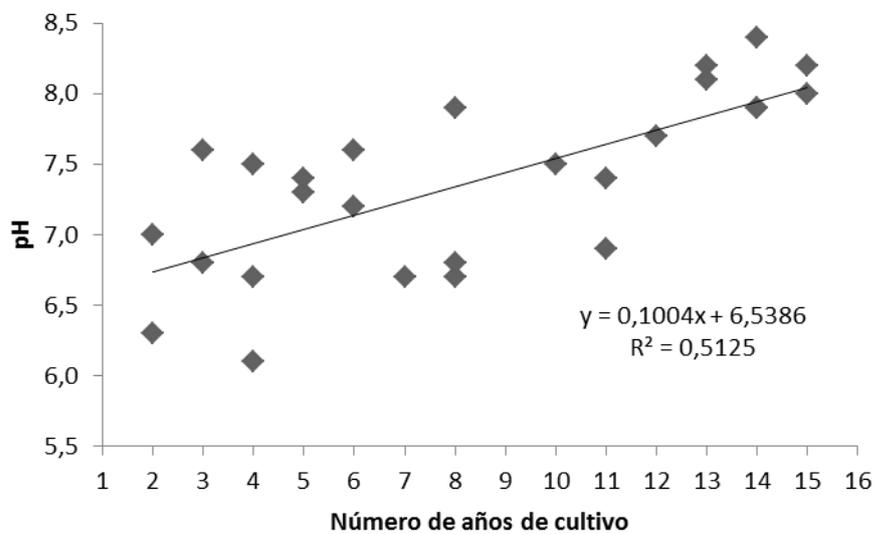


Figura 4. Relación entre pH del suelo en función del número de años de cultivos continuos en los invernáculos estudiados.

2.5.2.2. Materia orgánica

El contenido promedio de MO de los 30 casos evaluados fue de 2 %, en un rango de 1,1 a 3,3 % (Cuadro 3). Estos valores están por encima del rango promedio de estos suelos en condiciones prístinas, que es entre 0,6 a 1,5 % (Cuadro 1). Esto podría deberse a los elevados niveles de enmiendas agregados anualmente (Figura 3).

2.5.2.3. Nitrógeno mineral en el suelo

La concentración de N mineral total (N-NO_3^- más N-NH_4^+) de 0 - 20 cm en los sitios estudiados varió de 9 a 168 mg kg^{-1} con un promedio de 48 mg kg^{-1} . Dentro de este N mineral, la fracción dominante fue el N-NO_3^- (71%), indicando que hubo condiciones aeróbicas al momento del muestreo (Figura 5).

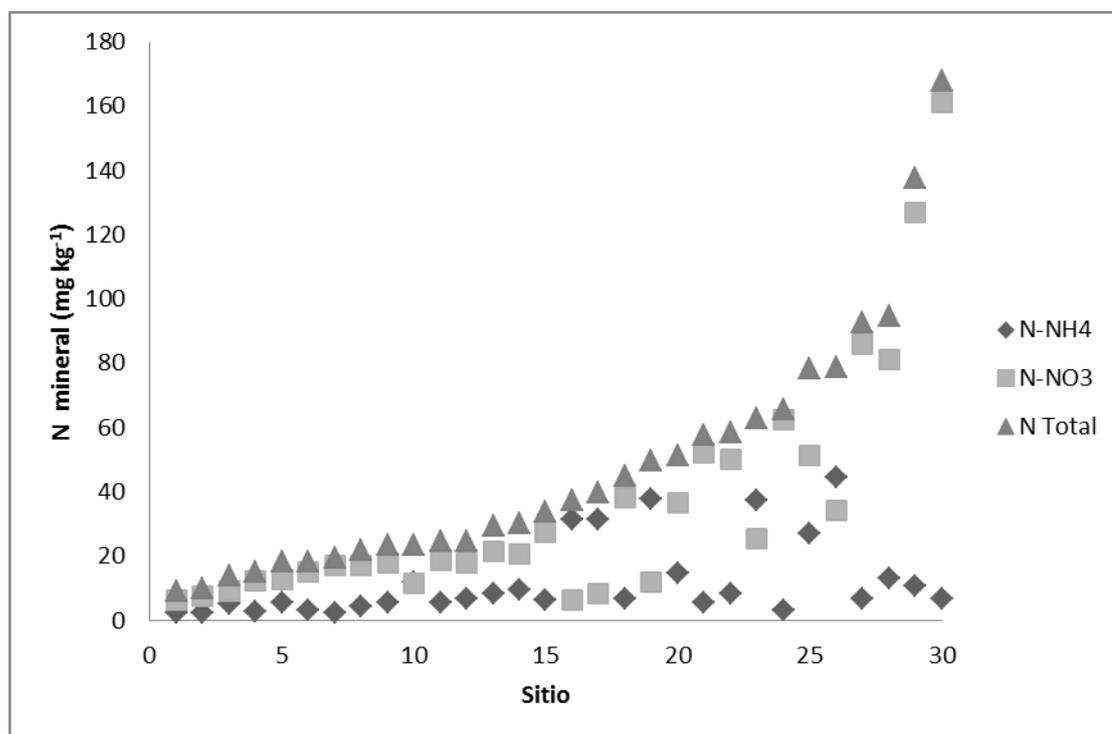


Figura 5. Concentración de N mineral y sus formas (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) de 0 a 20 cm en los sitios en estudio.

Por otro lado, de 20 a 40 cm de profundidad, la concentración de N mineral promedio fue de 34 mg kg^{-1} , en un rango de 6 a 171 mg kg^{-1} . En muchos de los sitios se encontraron valores de N mineral muy altos, susceptible a pérdidas (Figura 6).

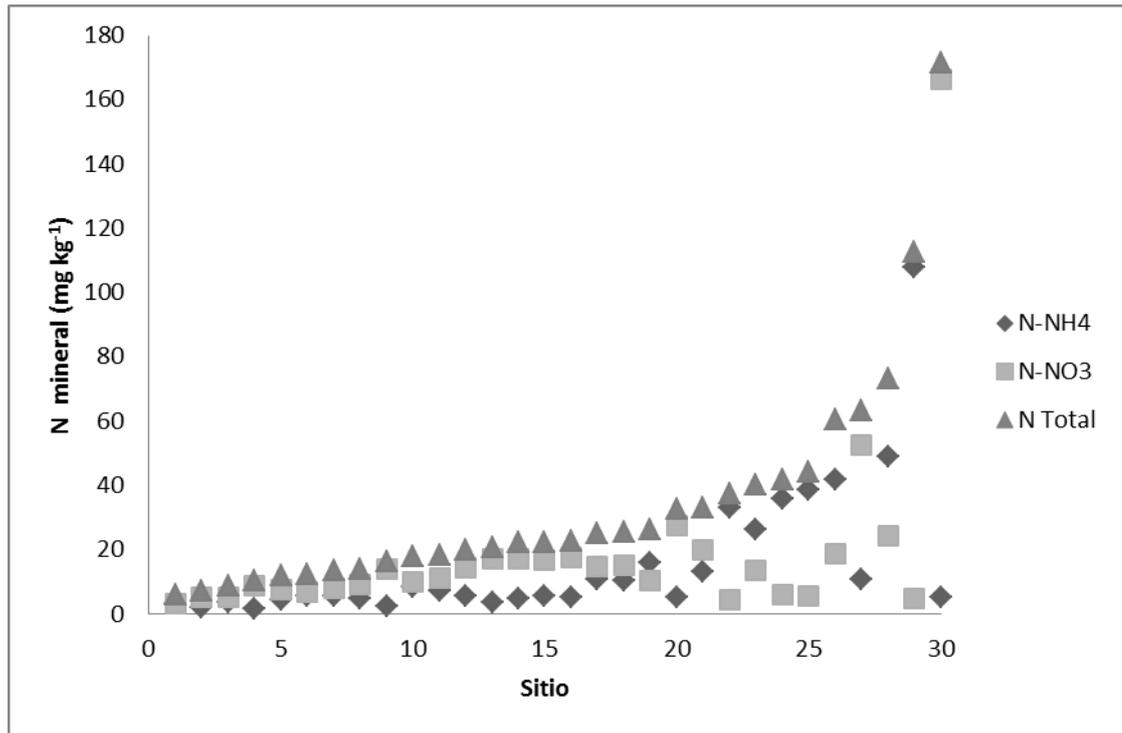


Figura 6. Concentración de N mineral y sus formas (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) de 20 a 40 cm en los sitios en estudio.

Asumiendo un equivalente fertilizante de $1 \text{ mg kg}^{-1} = 2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, la concentración promedio de los sitios de estudio sería de $205 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ en los primeros 40 cm del suelo, lo que equivale a 450 kg de urea (Figura 7).

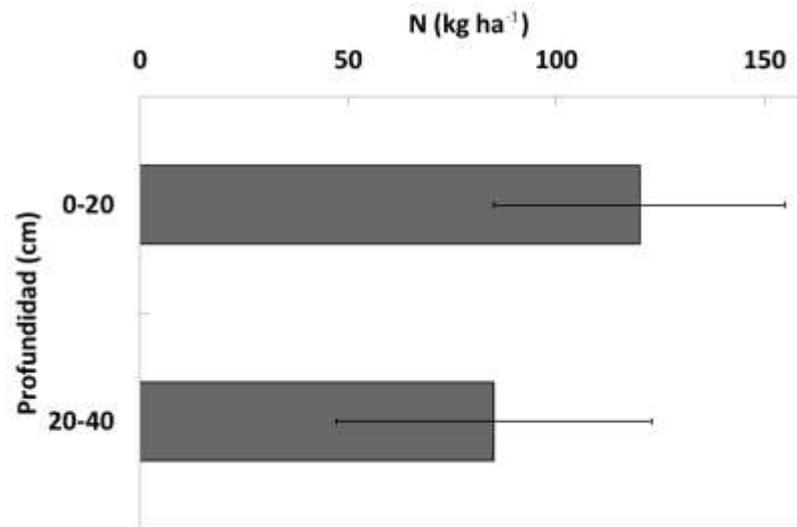


Figura 7. Concentración de N mineral (kg ha⁻¹) de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm del perfil del suelo.

2.5.2.4. Fósforo disponible

La Figura 8 muestra la disponibilidad de P en el suelo de 0 - 20 cm, en los sitios estudiados. El 70 % de los suelos presentaron valores de P disponible entre 56 y 98 mg kg⁻¹.

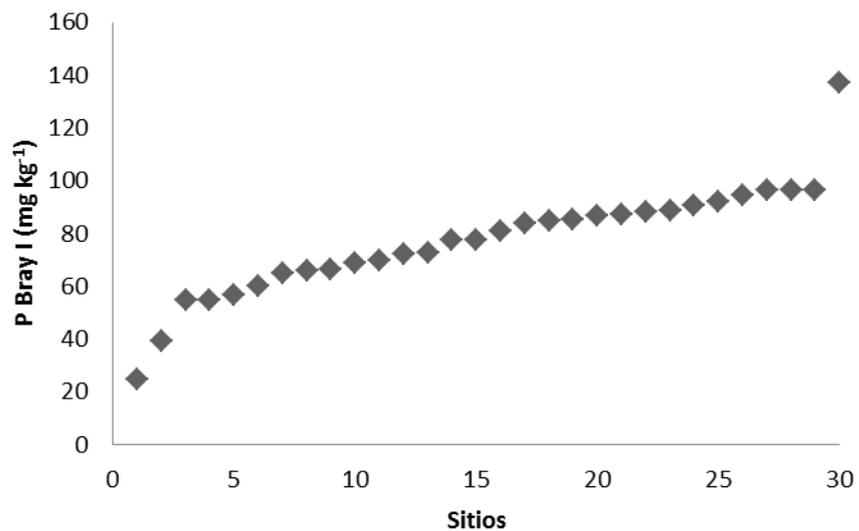


Figura 8. Fósforo disponible de 0 a 20 cm del suelo en los sitios en estudio.

Las elevadas aplicaciones de fertilizantes fosfatados y de enmiendas orgánicas en los sucesivos ciclos de cultivo explican los altos niveles encontrados de este nutriente. Un cultivo de tomate de mesa bajo invernáculo de 130 t ha⁻¹ de rendimiento absorbe 52 kg de P ha⁻¹ (IPNI, 2016). Por lo tanto, considerando el valor de 77 mg kg⁻¹ de P en suelo y una densidad aparente del suelo de 1,25 g cm³ de 0 a 20 cm de profundidad, se estima que se podrían realizar 4 cultivos de tomate sin necesidad de fertilización fosfatada, mientras que si se considera el valor máximo de 137 mg kg⁻¹ se podrían realizar 7 cultivos.

2.5.2.5. Cationes

Los suelos de los sitios estudiados presentaron valores de K intercambiable de 0,10 a 1,20 cmol kg⁻¹ (Figura 9), pero el 83 % presentó valores por debajo de 0,50 cmol kg⁻¹. Este valor sería esperable en este tipo de suelos, cuyos contenidos de K son generalmente bajos. Por otro lado, en estos sistemas de producción se aplican altas dosis de K, ya que son muy demandantes en dicho nutriente (la absorción de K de un tomate de 90 t ha⁻¹ es de 415 kg ha⁻¹, según Bar-Yosef, 1991)

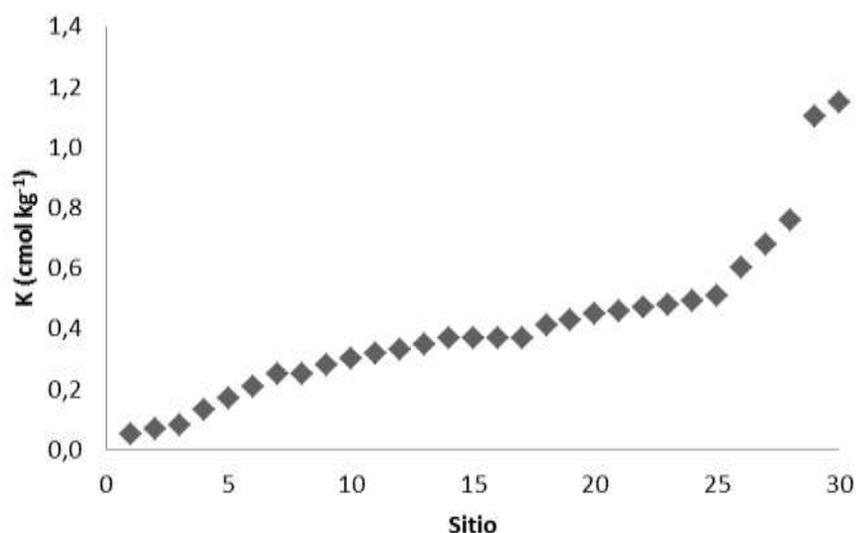


Figura 9. Potasio intercambiable en el suelo de 0 - 20 cm de profundidad en los sitios en estudio.

Los valores de Ca variaron desde $3,6 \text{ cmol kg}^{-1}$ a $15,7 \text{ cmol kg}^{-1}$ con un promedio de $8,0 \text{ cmol kg}^{-1}$. Aunque el Ca es el catión mayoritario en los suelos, en el 30% de los sitios se aplicó Ca al momento del transplante del cultivo, mientras que en el resto se aplicó Ca vía foliar, al momento de fructificación, para prevenir problemas de déficit debido al rápido crecimiento.

Los valores de Mg estuvieron dentro del rango de $0,8$ y $3,1 \text{ cmol kg}^{-1}$. En la mayoría de los sitios se aplicó Mg en el transplante en dosis de 80 a 100 kg ha^{-1} , realizándose también aportes a través del fertirriego.

La concentración de Na en el suelo varió de $0,2$ a $1,0 \text{ cmol kg}^{-1}$, exceptuando un valor muy alto encontrado en uno de los sitios. El porcentaje de saturación de Na en relación a las bases totales, fue en promedio de 6% , salvo un sitio donde presentó 29% debido a la alta concentración ($2,2 \text{ cmol kg}^{-1}$ de Na). Las enmiendas orgánicas usadas en este tipo de producción tienen bajo contenido de Na, en el orden de $0,03 \%$, comparado con el $0,2 \%$ de la cama de pollo, el cual se atribuye a la dieta que reciben estas aves para fomentar su rápido crecimiento (Barbazán, del Pino y Moltini, 2011).

2.5.2.6. Conductividad eléctrica

Los valores de CE en los diferentes sitios variaron desde un mínimo de $0,5$ a un máximo de $2,9 \text{ dS m}^{-1}$, con un promedio de $1,2$. Según la bibliografía internacional (Tanji y Kielen, 2002; Hu, Song y Lu, 2012), el cultivo de tomate estaría clasificado como moderadamente sensible, pudiendo verse afectado el rendimiento con niveles de CE de entre 2 a 4 dS m^{-1} . Si bien muchos de los suelos presentaron altos valores de CE, no se encontraron evidencias de excesos de sales que puedan limitar la producción.

2.6. CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo de tomate en los sitios estudiados estuvo dentro del rango de 90 a 190 t ha⁻¹, siendo el valor promedio para esta zona igual a 150 t ha⁻¹. En general, las dosis promedio de nutrientes aplicadas al transplante fueron 90, 192 y 242 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente completando una dosis de 400 kg ha⁻¹ de N, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 800 kg ha⁻¹ de K₂O con fertirriego. La dosis de enmienda orgánica aplicada varió desde 20 a 82 t ha⁻¹ de materia seca, siendo lo más usado mantillo de bosque. En promedio, los años de cultivo bajo el suelo del mismo invernáculo fueron 9 años, variando entre 2 y 18 años.

Los valores de los parámetros de suelo de muestras analizadas a fin del ciclo mostraron una correlación positiva entre años de cultivos y el incremento de pH, atribuidos al uso de aguas ricas en bicarbonato.

En dichas muestras se constató una alta variabilidad en los nutrientes como P, K y N. En algunos sitios, se detectó una alta disponibilidad de estos nutrientes, atribuida a altas dosis de fertilización química y a la aplicación de altas cantidades de enmiendas orgánicas. A la profundidad de 20 a 40 cm la concentración de N mineral estuvo en el rango de 6 a 171 mg kg⁻¹.

2.7. BIBLIOGRAFÍA

Adekiya AO, Agbede TM. 2016. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16 (4): 383 – 388.

Barbazán M, del Pino A, Moltini C, Hernández J, Rodríguez J, Beretta A. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15 (1): 82 – 92.

Cadahia C. 1995. Fertilización. En: Nuez F. (Ed). El Cultivo de Tomate. Bilbao: Mundi – Prensa. 167 - 187.

Chen Q, Zhang XS, Zhang HY, Christie P, Li XL, Horlacher D. 2004. Evaluation of current fertilizer practice and soli fertilizer in vegetable production in the Beijing region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69 (1): 51 – 58.

Choi B, Lim JE, Sung JK, Jeon WT, Lee SS, Oh SE, Yang JE, Ok YS. 2014. Effect of rapeseed green manure amendment on soil properties and rice productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 751 – 764.

García F, Correndo A. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales de cultivos extensivos. [En línea] 6 de diciembre de 2014. IPNI Cono Sur. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.

Darwish T, Atallah T, Moujabber ME, Khatib N. 2005. Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebanon. *Agricultural Water Management*, 78: 152 – 164.

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2016. Producción [En línea]. En: Anuario estadístico agropecuario 2016. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Consultado el 12 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016>.

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias) y DIGEGRA (Dirección General de la Granja). 2010. Producción [En línea]. En: Encuestas Hortícolas 2009, Zonas Sur y Litoral Norte, 2010. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Consultado 12 de diciembre de 2011. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuestas_horticolas_2009_-_zonas_sur_y_litoral_norte_-_junio_2010_-_no_290.pdf.

- Edmeades, D. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66 (2): 165 – 180.
- Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2024 – 2030.
- FAO. 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. Roma. 187 p. (FAO Irrigation and drainage paper no. 61).
- Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327: 1008 – 1010.
- Hannam K, Kehila D, Millard P, Midwood A, Neilsen D, Neilsen G, Forge T, Nichol C, Jones M. 2016. Bicarbonates in irrigation water contribute to carbonate formation and CO₂ production in orchard soils under drip irrigation. *Geoderma*, 266: 120 – 126.
- He F, Chen Q, Jian R, Chen X, Zhang FS. 2007. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77: 1 – 14.
- Hu YC, Song ZW, Lu WL, Poschenrieder C, Schmidhalter U. 2012. Current Soil Nutrient Status of Intensively Managed Greenhouses. *Pedosphere*, 22: 825 – 833.
- Jain P, Sharma RC, Bhattacharyya P, Banik P. 2014. Effect of new organic supplement (Panchgavya) on seed germination and soil quality. *Environmental Monitoring Assessment*, 186: 1999 – 2011.

Ju XT, Kou CL, Zhang FS, Christie P. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 143: 117 – 125.

Liu CA, Li FR, Liu CC, Zhang RH, Zhou LM, Jia Y, Gao WJ, Li JT, Ma QF, Siddique K, Li FM. 2013. Yield – increase effects via improving soil phosphorus availability by applying K_2SO_4 fertilizer in calcareous – alkaline soils in a semi – arid agroecosystem. *Field Crops Research*, 144: 69 – 76.

Mara H, Doti R, Secondi A. 1980. Relevamiento nutricional de las áreas cítricas de Salto, Paysandú y Rivera. *Fertilización de Citrus en base a análisis foliar*, 6: 3 – 9.

Moltini C, Zamalvide J. 2006. Manejo de la Fertilización con boro y potasio en tomate. *Serie de Actividades de Difusión – INIA*, 454: 18 – 43.

Nakano A, Yamauchi A, Uehara Y (2003). Effects of Application of Low-Sulfate Slow-Release Fertilizer (LSR) on Shoot and Root Growth and Fruit Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Japan Agricultural Research Quarterly*, 37 (2): 121 – 127.

Ramos C, Agut A, Lidon A. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, 118: 215 – 223.

Shannon MC, Grieve CM. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78: 5 – 38.

Shi WM, Yao J, Yan F. 2009. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 83: 73 – 84.

- Siddiqui Y, Meon S, Ismail R, Rahmani M. 2009. Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L, the causal pathogen of wet rot of okra. *Biological Control*, 49, 38 – 44.
- Tanji K, Kielen N. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Wang Y, Zhang H, Tang J, Xu J, Kou T. 2015. Accelerated phosphorus accumulation and acidification of soils under plastic greenhouse condition in four representative organic vegetable cultivation sites. *Scientia Horticulturae*, 195: 67 – 73.
- Yang L, Li T, Li F, Lemcoff JH. 2010. Long-term fertilization effect on fraction and distribution of soil phosphorus in a plastic-film house in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42: 1 – 12.
- Yu HY, Li TX, Zhang XZ. 2010. Nutrient budget and soil nutrient status in greenhouse system. *Agricultural Sciences in China*, 9: 871 – 879.
- Zhang XS, Liao H, Chen Q, Christie P, Li XL, Zhang FS. 2007. Response of tomato on calcareous soils to different seedbed phosphorus application rates. *Pedosphere*, 17: 70 – 76.
- Zhao M, Shi Y, Chen X, Ma J. 2011. Soil Nitrogen accumulation in different ages of vegetable greenhouses. *Procedia Environmental Sciences*, 8: 21 – 25.
- Zhu JH, Li XL, Christie P, Li J. 2005. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111: 70 – 80.
- Zikeli S, Deil L, Möller K. 2017. The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of organic greenhouses in Southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 244: 1–13.

Zuo Y, Ren L, Zhang F, Jiang RF. 2007. Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 357 – 364.

3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES GLOBALES

Si bien el área de horticultura bajo protección en el norte es relativamente baja (431 ha), esta aporta el 69 % de la oferta nacional de tomate de mesa (DIEA y DIGEGRA, 2009). Además de ser un rubro con alto impacto social por la mano de obra que ocupa.

Las características de producción de tomate bajo plástico, redundan en un uso intensivo del recurso suelo, al realizar cultivos sucesivos durante muchos años, sin descanso y en rotación con otros cultivos extractivos como el morrón con rendimientos promedio de 150 t ha⁻¹ y 90 t ha⁻¹ para tomate y morrón, respectivamente para la zafra 2009 (DIEA y DIGEGRA, 2010). La medida de manejo más difundida para paliar esto, es la alta incorporación de enmiendas orgánicas y material verde de cultivos realizados fuera del invernáculo. Todo esto determina cambios a nivel de dinámica de nutrientes en el suelo y un desfase entre la aplicación de gran cantidad de nutrientes con la demanda del cultivo, lo que presume riesgo de contaminación por pérdidas de nutrientes por lixiviación.

Como comentario final, uno de los aportes más importantes de este trabajo, es que advierte sobre la necesidad de profundizar en el manejo de suelos bajo invernáculos y generar conocimientos locales de comportamiento de cultivos a través del monitoreo de nutrientes y pH para ver rangos óptimos del tomate. Dentro de los estudios en los que podría profundizarse serían la aplicación de S elemental para corregir pH altos, cuantificar el aporte de nutrientes por las enmiendas orgánicas, sobre todo en N, P y K y determinar cuál es el mejor momento de incorporarlas de manera de sincronizar el aporte de estas con la demanda por parte del cultivo. En función de esto, ajustar la fertilización a través del fertirriego. Con estas medidas apuntaríamos a un manejo que evite los desbalances y déficit nutricionales con las pérdidas de producción que conlleva y por otro lado la sobre fertilización y el riesgo de pérdidas de nutrientes al medio ambiente con posible contaminación de aguas subterráneas y superficiales.

4. BIBLIOGRAFÍA

Adekiya AO, Agbede TM. 2016. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16 (4): 383 – 388.

Barbazán M, del Pino A, Moltini C, Hernández J, Rodríguez J, Beretta A. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15 (1): 82 – 92.

Cadahia C. 1995. Fertilización. En: Nuez F. (Ed). *El Cultivo de Tomate*. Bilbao: Mundi – Prensa. 167 - 187.

Chen Q, Zhang XS, Zhang HY, Christie P, Li XL, Horlacher D. 2004. Evaluation of current fertilizer practice and soli fertilizer in vegetable production in the Beijing region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69 (1): 51 – 58.

Choi B, Lim JE, Sung JK, Jeon WT, Lee SS, Oh SE, Yang JE, Ok YS. 2014. Effect of rapeseed green manure amendment on soil properties and rice productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 751 – 764.

García F, Correndo A. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales de cultivos extensivos. [En línea] 6 de diciembre de 2014. IPNI Cono Sur. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.

Darwish T, Atallah T, Moujabber ME, Khatib N. 2005. Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebanon. *Agricultural Water Management*, 78: 152 – 164.

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2016. Producción [En línea]. En: *Anuario estadístico agropecuario 2016*. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Consultado el 12 de diciembre de 2017. Disponible

en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016>.

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias) y DIGEGRA (Dirección General de la Granja). 2010. Producción [En línea]. En: Encuestas Hortícolas 2009, Zonas Sur y Litoral Norte, 2010. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Consultado 12 de diciembre de 2011. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuestas_horticolas_2009_-_zonas_sur_y_litoral_norte_-_junio_2010_-_no_290.pdf.

Edmeades, D. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66 (2): 165 – 180.

Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2024 – 2030.

FAO. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. Roma. 187 p. (FAO Irrigation and drainage paper no. 61).

Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327: 1008 – 1010.

Hannam K, Kehila D, Millard P, Midwood A, Neilsen D, Neilsen G, Forge T, Nichol C, Jones M. 2016. Bicarbonates in irrigation water contribute to carbonate formation and CO₂ production in orchard soils under drip irrigation. *Geoderma*, 266: 120 – 126.

He F, Chen Q, Jian R, Chen X, Zhang FS. 2007. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77: 1 – 14.

- Hu YC, Song ZW, Lu WL, Poschenrieder C, Schmidhalter U. 2012. Current Soil Nutrient Status of Intensively Managed Greenhouses. *Pedosphere*, 22: 825 – 833.
- Jain P, Sharma RC, Bhattacharyya P, Banik P. 2014. Effect of new organic supplement (Panchgavya) on seed germination and soil quality. *Environmental Monitoring Assessment*, 186: 1999 – 2011.
- Ju XT, Kou CL, Zhang FS, Christie P. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 143: 117 – 125.
- Liu CA, Li FR, Liu CC, Zhang RH, Zhou LM, Jia Y, Gao WJ, Li JT, Ma QF, Siddique K, Li FM. 2013. Yield – increase effects via improving soil phosphorus availability by applying K_2SO_4 fertilizer in calcareous – alkaline soils in a semi – arid agroecosystem. *Field Crops Research*, 144: 69 – 76.
- Mara H, Doti R, Secondi A. 1980. Relevamiento nutricional de las áreas cítricas de Salto, Paysandú y Rivera. *Fertilización de Citrus en base a análisis foliar*, 6: 3 – 9.
- Moltini C, Zamalvide J. 2006. Manejo de la Fertilización con boro y potasio en tomate. *Serie de Actividades de Difusión – INIA*, 454: 18 – 43.
- Nakano A, Yamauchi A, Uehara Y (2003). Effects of Application of Low-Sulfate Slow-Release Fertilizer (LSR) on Shoot and Root Growth and Fruit Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Japan Agricultural Research Quarterly*, 37 (2): 121 – 127.
- Ramos C, Agut A, Lidon A. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, 118: 215 – 223.
- Shannon MC, Grieve CM. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78: 5 – 38.

Shi WM, Yao J, Yan F. 2009. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83: 73 – 84.

Siddiqui Y, Meon S, Ismail R, Rahmani M. 2009. Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L, the causal pathogen of wet rot of okra. *Biological Control*, 49, 38 – 44.

Tanji K, Kielen N. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Wang Y, Zhang H, Tang J, Xu J, Kou T. 2015. Accelerated phosphorus accumulation and acidification of soils under plastic greenhouse condition in four representative organic vegetable cultivation sites. *Scientia Horticulturae*, 195: 67 – 73.

Yang L, Li T, Li F, Lemcoff JH. 2010. Long-term fertilization effect on fraction and distribution of soil phosphorus in a plastic-film house in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42: 1 – 12.

Yu HY, Li TX, Zhang XZ. 2010. Nutrient budget and soil nutrient status in greenhouse system. *Agricultural Sciences in China*, 9: 871 – 879.

Zhang XS, Liao H, Chen Q, Christie P, Li XL, Zhang FS. 2007. Response of tomato on calcareous soils to different seedbed phosphorus application rates. *Pedosphere*, 17: 70 – 76.

Zhao M, Shi Y, Chen X, Ma J. 2011. Soil Nitrogen accumulation in different ages of vegetable greenhouses. *Procedia Environmental Sciences*, 8: 21 – 25.

Zhu JH, Li XL, Christie P, Li J. 2005. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111: 70 – 80.

Zikeli S, Deil L, Möller K. 2017. The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of organic greenhouses in Southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 244: 1–13.

Zuo Y, Ren L, Zhang F, Jiang RF. 2007. Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 357 – 364.