

**Control de la salinización del suelo
mediante
sistemas de drenes en producciones
intensivas de cultivos bajo cubierta**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la
Universidad de Buenos Aires,
Área Ciencias del suelo*

**Cuellas, Marisol
Virginia**

Ingeniera Agrónoma □ Universidad Nacional de La Plata
(UNLP) □ 2006

Lugar de trabajo: AE INTA La Plata. EEA
AMBA



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis **Margarita Alconada Magliano** Ingeniera Agrónoma (UNLP) Magister Sc Suelo (UBA)
Dra en Geografía (UNAM)

JURADO DE TESIS

Director de tesis **Margarita Alconada Magliano** Ingeniera Agrónoma (UNLP) Magister Sc Suelo (UBA)
Dra en Geografía (UNAM)

JURADO

Raúl Lavado
Ingeniero Agrónomo (UBA)

JURADO

Mariana Garbi Ingeniera Agrónoma (UNLP) Dra en Cs. Aplicadas (UNL)

Fecha de defensa de la tesis: 24 de Noviembre de 2015

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Sistemas productivos intensivos y características generales del área de estudio	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Estado de avance de estudios previos	3
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general del proyecto	4
1.5.2 Objetivos parciales	4
1.6 Justificación del proyecto	4
CAPITULO 2. ANTECEDENTES	6
2.1. Producción hortícola: Aspectos económicos y productivos	7
2.1.1. Producción Mundial	7
2.1.2. Producción Nacional	7
2.1.3. Producción bajo cubierta	9
2.2. Cultivo de pimiento	10
2.2.1. Importancia del cultivo	10
2.2.2. Descripción de la planta y requerimientos	11
2.2.2.1. Requerimientos agroclimáticos	12
2.2.2.2. Requerimientos edáficos y nutricionales	12
2.3. Impactos ambientales de la producción hortícola	14
2.3.1. Situación actual de los sistemas productivos protegidos del Área metropolitana Bonaerense (AMBA)	14
2.4. Manejo de los sistemas protegidos	15
2.4.1. Manejo del agua de riego	17
2.4.2. Enmiendas inorgánicas	18
2.4.3. Enmiendas orgánicas	19
2.4.4. Fertilización	20
2.5. Degradaciones en sistemas intensivos	22
2.5.1 Salinización y alcalinización	24
2.5.1.1. Descripción del proceso	24
2.5.1.2. Efecto de las sales en las plantas	25
2.5.1.3. Efecto de las sales en el suelo	26

2.5.1.4. Salinización y alcalinización en cultivos protegidos	28
2.6. Recuperación de suelos en invernadero: Mejoras del drenaje	29
2.6.1. Sistemas de drenes	29
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Área de estudio	32
3.1.1. Localización y características productivas	32
3.1.2. Características ambientales	34
3.1.2.1. Clima. Condiciones climáticas a considerar para las producciones a campo y bajo cubierta.	34
3.1.2.2. Topografía e Hidrología	35
3.1.2.3. Suelos	35
3.1.2.3.1 Características físico-químicas. Implicancias productivas.	36
3.2. Descripción del ensayo	39
3.2.1. Descripción del esquema productivo	39
3.2.2. Tratamientos implementados	41
3.3. Estudios realizados	44
3.3.1. Suelo	44
3.3.1.1. Muestreo del suelo	44
3.3.1.2. Determinaciones analíticas	45
3.3.2. Agua	46
3.3.3. Cultivo	47
3.4. Procesamiento estadístico	47
CAPITULO 4 Y 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO 4. SUELO Y AGUA	50
4.1. Caracterización del sitio de estudio	51
4.2. Propiedades físico-químicas del suelo	58
4.2.1. Salinidad, conductividad eléctrica	58
4.2.1.1. Año 2009	60
4.2.1.2. Año 2010	64
4.2.1.3. Año 2011	66
4.2.2. Sodicidad (RAS)	68
4. 2.2.1. Año 2009	71
4.2.2 2. Año 2010	75
4.2.2.3. Año 2011	79

4.2.3. Por ciento de sodio intercambiable (PSI). Relaciones entre RAS-PSI, cationes solubles e intercambiables	82
4.2.3.1. Análisis por año	83
4.2.3.2. Correlaciones entre las variables	86
4.2.4. Reacción del suelo, pH	87
4.2.4.1. Año 2009	87
4.2.4.2. Año 2010	89
4.2.4.3. Año 2011	91
4.3. Propiedades químicas del suelo	92
4.3.1. Disponibilidad de cationes solubles y su efecto en la nutrición del cultivo	92
4.3.1.1. Calcio	93
4.3.1.2. Magnesio	96
4.3.1.3. Potasio	97
4.3.2. Nitrógeno, Materia orgánica	99
4.3.3. Fósforo	101
4.4. Propiedades físicas del suelo	103
4.5. Calidad del agua de riego	104
CAPÍTULO 5. CULTIVO	107
5.1. Evaluación fenológica	108
5.1.1. Año 2009	108
5.1.2. Año 2010	110
5.1.3. Año 2011	112
5.2. Calidad de los frutos y rendimiento del cultivo	114
5.2.1. Calidad de los frutos	114
5.2.1.1. Año 2009	114
5.2.1.2. Año 2010	116
5.2.1.3. Año 2011	117
5.2.2. Rendimiento	119
5.3. Análisis económico	120
CAPITULO 6. CONCLUSIONES	122
6.1. Conclusiones parciales	123
6.2. Conclusiones generales	124
6.3. Recomendaciones de investigación y manejo	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXO	139

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Distribución nacional del cultivo bajo cubierta. Superficie (%) de cada provincia	10
Figura 2.2. Invernaderos del Gran La Plata, vista del exterior e interior. Producciones hortícolas y florícolas.	16
Figura 2.3. Labores realizadas en las producciones horti-florícolas del Gran La Plata.	17
Figura 2.4. Principales degradaciones de los suelos y observadas en el Gran La Plata. Consecuencias en el ambiente.	23

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Cantidad de quintas productivas, en los partidos que integran el cinturón verde del área metropolitana de Buenos Aires.	33
Figura 3.2. Perfiles de suelos del Gran La Plata.	36
Figura 3.3. Estructura de un suelo Hapludert típico.	37
Figura 3.4. Agrietamiento en un suelo Hapludert típico de la zona del Gran La Plata.	39
Figura 3.5. Comparación diámetro de tubos de PVC utilizados para el drenaje.	42
Figura 3.6. Instalación del sistema de drenaje, sitio correspondiente a los T1 y T2	43

CAPÍTULOS 4 Y 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 4. SUELO Y AGUA

Figura 4.1. Calicatas realizadas en el sitio de estudio	51
Figura 4.2. Perfil calicata a campo (vecina al invernáculo)	53
Figura 4.3. Detalle de la estructura de los horizontes de la calicata a campo	53
Figura 4.4. Perfil calicata adentro del invernáculo	55
Figura 4.5. Detalle de la estructura de los horizontes de la calicata adentro del invernáculo	56
Figura 4.6. Suelo observado en el laboratorio. Comparación de muestras entre calicatas, y con horizonte E de la Serie los Hornos.	57
Figura 4.7. Evolución de la conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto de 2011.	59
Figura 4.8. Evolución de la conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), superficial (0-20cm). Comparación entre sitios. Año 2009.	61
Figura 4.9. Comparación de los valores superficiales (0-20cm) de CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), al inicio y al final del ciclo del 2009, entre T2 (dren 15) y el testigo.	62
Figura 4.10. Presencia de halos salinos alrededor del gotero de la cinta de riego.	62

Figura 4.11. Evolución de la sodicidad (RAS) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto de 2011.	69
Figura 4.12. Comparación entre niveles iniciales y finales de Na^+ (me.l^{-1}) Superficial (0-20cm). Año 2009	72
Figura 4.13. Evolución del Ca^{2+} (me.l^{-1}) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011	93
Figura 4.14. Evolución del Mg^{2+} (me.l^{-1}) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011	96
Figura 4.15. Evolución del K^+ (me.l^{-1}) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011	98
Figura 4.16. Plantas de pimiento con hojas cloróticas pertenecientes al testigo.	103
CAPÍTULO 5. CULTIVO	
Figura 5.1. Frutos con <i>blosson end rot</i> en julio del 2009, en el testigo	120

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Evolución de la producción mundial (miles de toneladas) del sector agropecuario, desde el año 2003 al 2007.	7
Tabla 2.2. Regiones productoras y principales especies hortícolas de Argentina.	8
Tabla 2.3. Niveles de CE (dS.m ⁻¹) a partir de los cuales se afecta el rendimiento del cultivo de pimiento.	13

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Dosis y características de los fertilizantes utilizados en la solución del fertirriego.	41
Tabla 3.2. Fechas de muestreo, estado del cultivo y tipo de muestreo.	45

CAPÍTULO 4 Y 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 4. SUELO Y AGUA

Tabla 4.1. Datos analíticos del suelo, calicata 1 (vecina al invernáculo).	52
Tabla 4.2. Datos analíticos del suelo, calicata 2 (adentro del invernáculo).	55
Tabla 4.3. Valores de CE (dS.m ⁻¹) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), promedios y extremos, periodo 2009-2011. Tratamientos y testigo.	59
Tabla 4.4. Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹) superficial (0-20cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2009. Tratamientos y testigo.	61
Tabla 4.5. Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹) subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2009. Tratamientos y testigo.	64
Tabla 4.6. Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2010. Tratamientos y testigo.	65
Tabla 4.7. Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2011. Tratamientos y testigo.	67
Tabla 4.8. Valores de RAS superficiales (0-20cm) y subsuperficiales (20-40cm). Promedios por año y extremos. Tratamientos y testigo.	69
Tabla 4.9. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2009. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	73
Tabla 4.10. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2009. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	74
Tabla 4.11. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2010. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	76
Tabla 4.12. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2010. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	78
Tabla 4.13. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2011. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	80
Tabla 4.14. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles	82

Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ . Año 2011. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.	
Tabla 4.15. PSI (%) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), comparación entre sitios y fechas de muestreo. Periodo enero 2009-agosto 2011.	83
Tabla 4.16. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2009.	89
Tabla 4.17. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2010.	90
Tabla 4.18. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2011.	92
Tabla 4.19. Evolución superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm) del K ⁺ (me.l ⁻¹). Comparación entre sitios y fechas de muestreo	99
Tabla 4.20. Niveles de nitrógeno total (%); materia orgánica (%) y relación C/N en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm). Tratamientos y testigo periodo enero 2009-agosto 2011.	100
Tabla 4.21. Niveles de fósforo asimilable (ppm) en superficie (0-20cm) y en subsuperficie (20-40cm). Tratamientos y testigo periodo enero 2009-agosto 2011.	102
Tabla 4.22. Conductividad hidráulica (Ks) (cm.h ⁻¹), para todos los sitios en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm), en F1 y F11 (agosto 2011). Índice de inestabilidad de los agregados (%) en superficie para F1.	104
Tabla 4.23. Análisis del agua de riego	105
CAPÍTULO 5. CULTIVO.	
Tabla 5.1. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2009. Comparación tratamientos y testigo	109
Tabla 5.2. Evaluación fenológica junio del 2009, y peso fresco del cultivo. Comparación tratamientos y testigo.	110
Tabla 5.3. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2010. Comparación tratamientos y testigo	111
Tabla 5.4. Evaluación fenológica junio 2010, peso fresco y seco del cultivo. Comparación tratamientos y testigo	112
Tabla 5.5. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2011. Comparación tratamientos y testigo.	113
Tabla 5.6. Peso fresco y seco del cultivo, año 2011. Comparación tratamientos y testigo.	113
Tabla 5.7. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2009.	115
Tabla 5.8. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2010.	117
Tabla 5.9. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2011.	118
Tabla 5.10. Rendimiento del cultivo (t.ha ⁻¹) para los tres años de evaluación. Comparación tratamientos y testigo.	119

Tabla 5.11. Incremento del rendimiento de los tratamientos en comparación con el testigo, en cada año de evaluación. 121

Tabla 5.12. Costo de instalación e ingreso bruto por la instalación de los drenes en el año 2009. 121

Abreviaturas

CE: Conductividad eléctrica

RAS: Relación de adsorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable

Nt: Nitrógeno total

MO: Materia Orgánica

P: Fósforo

Ca: Calcio

Mg: Magnesio

K: Potasio

Na: Sodio

Ks: Conductividad hidráulica

IEA: Índice de estabilidad de los agregados

H: Altura de la planta

CT: Calibre del tallo

AF: Área foliar

NF: Número de frutos

PS: Peso seco

PF: Peso fresco

BER: Blossom end rot

CV: Coeficiente de variabilidad

CONTROL DE LA SALINIZACIÓN DEL SUELO MEDIANTE SISTEMAS DE DRENES EN PRODUCCIONES INTENSIVAS DE CULTIVOS BAJO CUBIERTA

Los suelos en los cuales se desarrolla la actividad hortícola en el Gran La Plata presentan como limitante natural restricciones en el drenaje debido a la presencia de elevada cantidad de arcillas desde superficie (expansivas en alta proporción). Estas características edáficas, junto a la calidad del agua de riego, y al excesivo aporte de enmiendas y fertilizantes, conducen a la ocurrencia de procesos degradativos tales como, salinización, alcalinización, anegamiento, mayor incidencia de plagas, y efectos sobre el cultivo. Se tuvo como objetivo estudiar la eficiencia de drenes subsuperficiales en el control de la salinidad-alcalinidad de un suelo Hapludert típico con cultivos protegidos, que presentaba en promedio pH 8,25; CE 4,45 dS.m⁻¹; RAS 22, aunque con amplia variabilidad. Se comparan dos tratamientos con drenes (T1 10cm y T2 15cm de diámetro), un tratamiento con yeso (T3) y un testigo. Se evaluó el suelo y el cultivo de pimiento "*Capsicum annuum*" durante 3 años (2009-2011). Los drenes subsuperficiales condujeron a una homogenización de todo el sitio de estudio y evitaron la ocurrencia de pulsos salinos característicos de estos sistemas productivos, sin ocasionar cambios significativos en la RAS, la cual se mantuvo en los valores dados por el agua de riego. El diámetro del dren no influyó de una manera significativa. El yeso presentó mejoras temporales en la salinidad-alcalinidad, pero no condujo a una mejora permanente del sitio. El desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo en los tratamientos fue mejor que en el testigo en los años evaluados. Los tratamientos con drenes se diferenciaron significativamente del yeso en 2009 (P 0,01). El distanciamiento entre drenes (5m), resultó suficiente como para mejorar todo el invernáculo (460m²).

Cultivos protegidos, salinidad, alcalinidad, drenes subsuperficiales, yeso

CONTROL OF SOIL SALINIZATION, THROUGH DRAINS SYSTEMS, IN INTENSIVE COVER CROP PRODUCTION

The soils where the horticultural activity takes place in the Gran La Plata present natural limiting restrictions in the drainage due to the presence of high amount of clay from the surface (expansive in high proportion). These soil characteristics, together with the quality of irrigation water, and the excessive intake of amendments and fertilizers, lead to the occurrence of degradative processes such as salinization, alkalization, waterlogging, increased incidence of pests, and effects on the crop. The aim was to investigate the efficiency of subsurface drainages to control salinity-alkalinity of a typical Hapludert soil with protected crops, with pH 8.25; 4.45 CE dS.m⁻¹; RAS 22 as average values, but showing wide variability. We compared two treatments with drainages (T1 of 10cm, and T2 of 15cm in diameter), one treatment with gypsum (T3) and one control. Soil and green peppers "*Capsicum annuum*" crop were evaluated during 3 years (2009-2011). Subsurface drainages led to a homogenization of the entire site of study and prevented the occurrence of the characteristic saline pulses of these production systems, without causing significant changes in the RAS, which remained at the values given by the irrigation water. The diameter of the drain did not influence in a significant way. The gypsum showed temporary improvements in salinity-alkalinity, but did not lead to a permanent improvement of the site. The phenological development and yielding of the crop in the different treatments was better than the control in the studied years. The treatments with drainages differed significantly from the gypsum in 2009 (P 0.01). The distance between drainages (5m), was enough to improve the whole greenhouse (460 m²).

Protected crops, salinity, alkalinity, subsurface drainages, gypsum.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Sistemas productivos intensivos y características generales del área de estudio

A partir de la década de 1970 en Argentina, se incorpora y promueve la producción bajo cobertura plástica “*invernaderos*”, constituyéndose en una profunda transformación del sector hortícola. Estos esquemas productivos responden a exigencias productivas, económicas y sociales; incorporando un gran número de insumos, desarrollos tecnológicos, grupos sociales y económicos (Martínez Quintana et al. 1995; Carluccio et al. 2002). Hernández Díaz et al. (2006) indican que los cultivos protegidos, son uno de los aportes más importantes en la revolución científico agrícola, ya que posibilitan la producción de alimentos con independencia climática, ampliando las épocas y zonas de producción.

La región del Gran La Plata, es una de las zonas de mayor importancia a nivel nacional en la producción hortícola y florícola en invernadero, según el Censo provincial horticola (CHFBSAS 2005), existían en la región 1.047 explotaciones (hortícolas y florícolas) en 2.879,9 ha; de las cuales 1.887,9 ha eran a campo y 992 ha bajo cubierta. No obstante, en un análisis más reciente, realizado por medio de la utilización de imágenes satelitales, se determinó para el año 2011, una superficie bajo cubierta, de 2.251 ha (López Camelo 2011).

Los suelos del Gran La Plata en donde se desarrolla esta actividad se los clasifica como Hapludert típico y Argiudol vértico. Presentan naturalmente elevada fertilidad química, alto nivel de materia orgánica, están libres de sales y sodio ($CE < 1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH: 5,5 y $RAS < 1$), siendo su limitante principal el drenaje. Poseen un elevado contenido de arcillas desde superficie (entre 32-40%) que se incrementa subsuperficialmente (50–60%), prevaleciendo la illita, y en segundo término la montmorillonita (Hurtado et al. 2006).

En los esquemas productivos de la región, la salinización y la alcalinización, asociadas al deterioro de la estructura, encharcamiento, desarrollo de enfermedades, y desequilibrios nutricionales son las principales limitantes de origen edáfico sobre la producción hortícola protegida, con consecuencias ambientales, productivas y económicas (González y Amma 1976; Ramos y Peinemann 1981; Alconada y Huergo 1998; Alconada et al. 2000; Alconada et al. 2004b). Así, se produce una drástica disminución de rendimientos, calidad de lo cosechado, y en casos extremos de degradación, abandono del sitio productivo, con implicancias socio-económicas y ambientales (Giuffré et al. 2004). Puede entonces, considerarse al mal manejo del complejo suelo-agua-planta, como situación crítica en la expansión y el desarrollo de la actividad hortícola en forma protegida en la región del Gran La Plata.

1.2. Planteamiento del problema

Los esquemas productivos intensivos, utilizan una gran cantidad de insumos e intensifican las prácticas de manejo, tal como fertirriego, aplicación de agroquímicos y enmiendas. En general, se realiza sin un adecuado ajuste a las condiciones naturales y reales necesidades de los cultivos, conduciendo a degradaciones edáficas, con

disminución de rendimientos, calidad de lo producido, contaminaciones del ambiente, y aumento de costos.

En la región, se destaca la existencia de características naturales de baja permeabilidad y mala calidad de agua de riego (bicarbonatada sódica), que junto a un inadecuado manejo de la fertilización y enmiendas, y manejo de las relaciones suelo-agua, condujo y conduce a la ocurrencia de degradaciones físicas, físico-químicas, químicas y biológicas del suelo, con diferente magnitud (Alconada y Zembo 2000; Giuffré et al. 2004; Poncetta et al. 2006; Alconada et al. 2011; Cuellas y Delmazzo 2013).

La situación de degradación edáfica observada ha conducido a plantearse reemplazar la producción con suelo por los sistemas hidropónicos (Amm y Cascardo 1997; Balcaza 2004). Sin embargo, para las condiciones socio-económicas y productivas del país, la producción intensiva sobre suelos y con coberturas plásticas constituye una alternativa ventajosa y promisoriosa para el productor medio, siendo entonces necesario ajustar y/o desarrollar técnicas que posibiliten una sustentabilidad del esquema productivo.

En la región de estudio, no se actúa sobre el origen de la degradación del suelo, sino que se recurre a acciones que intentan paliar las situaciones derivadas de los factores incidentes, naturales y antrópicos, incrementando los costos y contaminando el ambiente sin obtener mejoras en la producción.

1.3. Estado de avance de estudios previos

Los estudios sobre el origen de las degradaciones presentes en la región y la forma en que estas se incrementan como consecuencia de la intensificación de las prácticas tradicionales, sin rever relaciones causa-efecto, conducen a afirmar que resulta prioritario actuar sobre dichos orígenes y establecer la forma en que es posible producir de manera sustentable. Así, se ha estudiado la forma en que dicha salinización–alcalinización se produce, por el agua de riego, agregado de fertilizantes, enmiendas, y manejo, y se han establecido sus consecuencias productivas ambientales y económicas (Alconada et al. 2011; Cuellas y Delmazzo 2013).

1.4. Hipótesis

En suelos con altos contenidos de arcilla la ausencia de un adecuado drenaje interno, conduce a que algunas prácticas de manejo, tal como la aplicación de yeso, tengan resultados inciertos e incluso efectos negativos en el sistema.

Al disminuir el aporte de sales, y garantizar el drenaje del suelo se impide la salinización superficial. Los drenes subsuperficiales, en la parte superior del horizonte Bt, mejoran la permeabilidad de los suelos, disminuyen el encharcamiento y la acumulación de sales.

Los drenes pueden incrementar no solo la salida del ión sodio, sino también la de otros cationes afectando así la nutrición de los cultivos y asociado esto, la calidad del fruto y rendimiento del cultivo de pimiento.

Es posible que exista un comportamiento diferencial de los drenes en función de su diámetro.

En sistemas con fertirriego y alto contenido de coloides, las relaciones RAS-PSI frecuentemente señaladas en la bibliografía pueden verse alteradas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general del proyecto

Desarrollar conocimientos relativos al manejo de los suelos con cultivos protegidos, estudiando la eficiencia de la instalación de drenes subsuperficiales en el control del halomorfismo de un suelo degradado.

1.5.2. Objetivos parciales

- Evaluar el comportamiento físico-químico del suelo, respecto a las variables del cultivo, frente a diferentes propuestas de manejo: drenes subsuperficiales y enmienda cálcica (yeso)
- Evaluar la química del suelo y la movilidad de los cationes respecto al comportamiento del cultivo.
- Analizar si la medición de la RAS resulta adecuada en el seguimiento de la alcalinidad de sistemas fertirrigados con alta proporción de coloides.
- Evaluar la efectividad de los drenes en función de sus diámetros.
- Establecer si los drenes producen una mejora del sitio y un aumento del rendimiento que justifica económicamente su instalación

1.6. Justificación del proyecto

En la presente propuesta de trabajo se pretende establecer las bases científicas que permitan demostrar que el uso de drenes subsuperficiales conduce a una mejora del sitio productivo. Asimismo, se analizará el uso de enmiendas cálcicas en suelos con rasgos vérticos. Se trata entonces de implementar una práctica, que se estima posibilitará obtener la viabilidad productiva en términos técnicos, económicos y ambientales.

La instalación de drenes subsuperficiales sobre el techo del horizonte Bt de baja permeabilidad, sin la influencia de una superficie freática cercana pero con acumulación de agua subsuperficial y/o ascenso capilar de sales, dependiendo del manejo del agua de riego, constituye una innovación tecnológica en producciones flori-hortícolas bajo invernadero, y en una alternativa promisorio para revertir algunos de los problemas que se describen para estos sistemas productivos en la región en particular y el país en general.

Si bien en este estudio, dado el tiempo de análisis no podrá demostrarse la sustentabilidad productiva de las prácticas implementadas en el largo plazo, se

considera que los resultados en suelo, planta, y productividad obtenidos en tres años de estudios son suficientes para establecer la evolución de la presente propuesta.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Producción hortícola: Aspectos económicos y productivos

2.1.1. Producción Mundial

La producción hortícola es muy importante, tanto desde el punto de vista económico y social, como desde el alimenticio. Económica y socialmente su importancia radica no solo en la generación de empleos y su participación en el producto bruto interno de cada país, sino también en la generación de productos perecederos e industrializados. Desde el punto de vista de la alimentación, es bien conocido el aporte irremplazable de vitaminas, minerales, carbohidratos y fibras que proveen las hortalizas (Alcazar Ocampo 2010).

La producción hortícola mundial se ha incrementado significativamente en los últimos años en respuesta al aumento de la población (tasa de crecimiento anual 2%), con mayor demanda en cantidad y calidad de alimentos, que incluye a los productos hortícolas en forma destacada. Así, para el año 1980, la producción mundial hortícola fue de 324Mt, y para el año 2005 de 881Mt (Ferrato y Mondino 2008).

En la **Tabla 2.1** se presenta la evolución anual (miles de toneladas), en un periodo de 5 años, de las distintas producciones agropecuarias. En el mismo se puede observar la importancia de la producción hortícola respecto a otras producciones (carne, leche, frutas, etc). Así por ejemplo, para el año 2007, la producción de leche, de frutas, y de carne presentaron, respectivamente, un 25, 40 y 90% menos de volumen de producción que la hortícola. Asimismo, se aprecia que la producción mundial de hortalizas tuvo un crecimiento de un 10% en 5 años (periodo 2003-2007) (Fernández Lozano 2012).

Tipo de producción	Producción Anual (t)				
	2003	2004	2005	2006	2007
Cereales	2.088.693	2.280.834	2.267.177	2.239.236	2.351.396
Hortalizas y melones	842.102	852.674	869.041	895.615	908.838
Leche	615.747	528.441	547.794	665.277	679.207
Frutas	495.429	519.379	528.649	547.425	557.793
Oleaginosas (primarias)	124.186	134.837	143.290	147.440	148.783
Carne Vacuna	60.603	61.673	62.665	62.011	63.174
Legumbres Secas	58.943	59.599	60.236	59.776	55.847

Fuente: Fernández Lozano 2012, datos obtenidos de la FAO

Tabla 2.1. Evolución de la producción mundial (miles de toneladas) del sector agropecuario, desde el año 2003 al 2007.

2.1.2. Producción Nacional

La producción ganadera y agrícola (cereales y oleaginosas) han sido históricamente las actividades de mayor relevancia en el país. No obstante, los cultivos intensivos (hortalizas, frutales y flores), incrementaron su importancia a mediados del siglo XIX, con el crecimiento de las corrientes migratorias. Los inmigrantes además de contribuir a la mano de obra de diferentes actividades rurales, incorporaron nuevas actividades del país de origen. Así, los italianos y españoles le dieron un empuje a la actividad hortícola (Carluccio et al. 2002) y los portugueses y japoneses a la actividad florícola.

El área de producción agrícola en Argentina es de 31Mha, de las cuales sólo el 2% se destina a la horticultura (0,62 Mha) (Carluccio et al. 2002). Sin embargo, adquiere relevancia debido a la incidencia socio-económica, ya que representa el 11% del producto bruto agrícola nacional y genera aproximadamente 2 millones de puestos de trabajo. Si compara la actividad hortícola con el resto de la actividades agropecuarias (respecto a los cereales y oleaginosas) del país se observa que a pesar de ocupar una pequeña superficie y de que su volumen de producción es bajo, tienen una alta producción por unidad de superficie. Por la forma de producción los sistemas intensivos tienen un alto grado de utilización de los factores tierra, capital, trabajo y tecnología (García 2012). Así, este sector demanda 30 veces más mano de obra, 20 veces más insumos, y 15 veces más de inversión en maquinarias por unidad de superficie que el sector agropecuario en su totalidad (Fernández Lozano 2012).

Las provincias productoras quedan enmarcadas, en base a factores políticos, económicos, ecológicos y sociales en ocho regiones, como se observa en la **Tabla 2.2**. Las principales provincias son Buenos Aires, Mendoza, Córdoba, Santiago del Estero, Salta, Jujuy, Chaco, Misiones, Tucumán, Formosa, Corrientes, San Juan y Río Negro (Fernández Lozano 2012). De las provincias mencionadas, Buenos Aires, Córdoba y Mendoza, concentran el 50% de la superficie implantada, contribuyendo con el 58,9% de la producción total (García 2012).

Regiones	Provincias	Principales especies
Noroeste	Salta, Jujuy, Tucumán	Tomate, pimiento, poroto, chaucha, zapallito, berenjena, pepino, papa y maíz dulce.
Noreste	Sudeste de Formosa, este de Chaco, Corrientes y Misiones	Zapallo, tomate, maíz dulce, ajo, mandioca, pimiento, batata y chaucha.
Central	Córdoba, San Luis y Santiago del Estero	Papa, ajo, zanahoria, batata, tomate, pimiento, cebolla de verdeo, remolacha, zapallito y apio
Andina	Catamarca, La Rioja, Mendoza y San Juan	Ajo, alcaucil, espárrago, cebolla, zapallo anco, lechuga, zanahoria, chaucha, papa, tomate y pimiento.
Valle del Río Negro y Neuquén	Río Negro y Neuquén	Papa, tomate, cebolla y zapallo
Litoral	Santa Fe y Entre Ríos	Batata, tomate, zapallito, lechuga, zanahoria, chaucha, arveja, maíz dulce, papa, acelga, espinaca, alcaucil.
Patagonia Sur	Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego	Papa y ajo para semilla, lechuga y otras hortalizas de hoja.
Buenos Aires	Norte de Buenos Aires, Cinturón Hortícola de Buenos Aires, área Central de Buenos Aires, sudeste bonaerense y Cinturón Hortícola de Bahía Blanca.	Batata, arveja, tomate, apio, lechuga, espinaca, pepino, papa, chaucha, albahaca, alcaucil, zapallito de tronco, repollo, remolacha, hinojo y apio.

Fuente: inet 2003

Tabla 2.2. Regiones productoras y principales especies hortícolas de Argentina.

Según el Censo Nacional Agropecuario (CNA 2002), la superficie total de hortalizas implantadas es de 238.282 ha. Con una producción total estimada de 6 millones de toneladas.

Cabe mencionar, que los datos disponibles son del CNA (2002), el cual se presenta como válido debido a ser el último registro oficial. Sin embargo, los volúmenes totales y las superficies ocupadas han cambiado significativamente. Al respecto, Ocampo (2007) en García (2012), consideró que la producción total para ese año había

aumentado a 8 millones de toneladas, abarcando una superficie de 600.000 ha. Para el año 2012, Fernández Lozano (2012) estimó una producción entre 8-10 millones de toneladas.

Argentina produce una gran diversidad de hortalizas, aproximadamente 115 especies, que son cultivadas en extensiones de variadas dimensiones. Las principales hortalizas cultivadas y su porcentaje de producción (para el año 2008) se pueden observar en la Figura 8.1 del anexo.

Estos productos se destinan al mercado interno (93-94%), siendo principalmente su consumo en fresco (Colamarino et al. 2006 en inet 2003). En lo que respecta, a la participación de la Argentina en el comercio internacional importa muy pocas hortalizas como por ejemplo tomate, zapallo principalmente. No obstante hay que considerar que esto se produce en situaciones en las cuales la producción nacional, por condiciones climáticas, se ve comprometida (Fernández Lozano 2012). La exportación es minoritaria, solo el 7% de la producción nacional. Las hortalizas mas exportadas son las no perecederas (cebolla, papa, ajo, garbanzo), ya que las mismas tienen muy poca competitividad. Los principales mercados son Brasil, España y los Estados Unidos (FAO 2002; Fernández Lozano 2012).

2.1.3. Producción bajo cubierta

La posibilidad de producir alimentos con independencia del clima, es uno de los aportes más importantes en la agricultura del siglo XX, esta tecnología se desarrollo principalmente para cultivos hortícolas, y posibilita no solo independizarse total o parcialmente del clima, sino que además permite extender los calendarios de cosecha (Hernández Díaz et al. 2006), entre otras ventajas. Actualmente esta tecnología esta disponible para todos los países, esquemas productivos y productores, y tiene una amplia adopción, debido a que se obtienen productos de alta calidad que responden a las exigencias actuales del mercado. Por consiguiente, gracias a su incorporación, la producción mundial de hortalizas y flores se ha multiplicado en las últimas décadas (Fundación Cotec 2009)

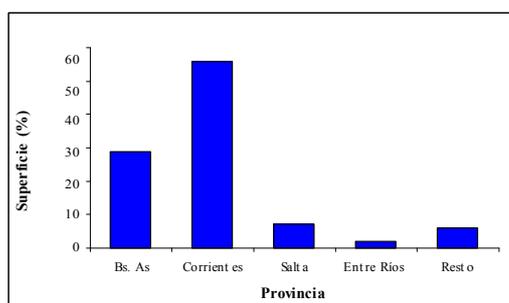
La superficie mundial de producción bajo cubierta, estimada para el año 2002 era de 450.000 ha. Existiendo dos zonas geográficas de mayor importancia, el extremo oriente (China, Japón, Corea), con el 80% de la superficie, donde China tiene la mayor proporción y la cuenca mediterránea con el 15% de la superficie (Fundación Cotec 2009)

En la década del 70, Argentina comienza a producir bajo coberturas plásticas (Martínez Quintana et al. 1995). Se inicia con la utilización de túneles para la protección de bajas temperaturas (almácigos, cultivo semiforzado) (Carluccio et al. 2002). A partir de la década del 80, este sistema de producción cobra mayor importancia y difusión para la mayoría de los cultivos hortícolas (Fernández Lozano 2012). Esto se debió principalmente a que la reconversión tecnológica no solo permitió obtener productos a contra-estación, sino que también permitió mejorar calidad y cantidad de lo producido (Martínez Quintana et al. 1995).

La incorporación de esta tecnología introdujo cambios en el sistema productivo, los más destacados fueron: adopción de riego por goteo y fertirriego, incorporación de nuevas técnicas de manejo de cultivo (producción de plantines, densidad y fechas de plantación, desinfección de suelos, nuevos materiales genéticos, conducción y manejo de poda), tecnología en la aplicación de plaguicidas, uso de plantines obtenidos bajo condiciones controladas, mejoramiento de las operaciones de cosecha y poscosecha, adopción de nuevos envases para la comercialización de productos (Fernández Lozano 2012).

La producción bajo cubierta a nivel nacional, según los datos aportados por el Censo agrícola nacional (CNA) del año 2002, era de 0,45 Mt. año⁻¹ ocupando una superficie de 2.961,3 ha. Este último censo, respecto al del año 1998, muestra un incremento en la producción total hortícola, tanto a campo como bajo cubierta (40,6 y 68%, respectivamente). Estos aumentos fueron consecuencia de un incremento en los rendimientos en ambos sistemas de producción, y al incremento de superficie bajo coberturas plásticas. Al respecto, Carluccio et al. (2002) señalaron que en los últimos 20 años, no solo hubo un aumento en la superficie destinada a los cultivos protegidos, si no que además se produjo un incremento en la tecnificación.

Este tipo de producción se distribuye en la mayoría de las provincias, sin embargo la misma no es uniforme, debido a que por condiciones agroecológicas y cercanías a mercados se han destacado por la superficie implantada solo algunas de ellas (Fernández Lozano, 2012). En la **Figura 2.1**, se puede observar que la provincia de Corrientes lidera la participación con un 56%, seguida por Buenos Aires con el 29%, Salta 7%, Entre Ríos 2 %, mientras que el resto de las provincias no supera el 1% (CNA 2002)



Fuente: Elaboración propia en base al CNA 2002.

Figura 2.1. Distribución nacional del cultivo bajo cubierta. Superficie (%) de cada provincia.

2.2. Cultivo de pimiento

2.2.1. Importancia del cultivo

El pimiento (*capsicum annuum*) es una planta herbácea, de crecimiento anual, perteneciente a la familia de las Solanáceas. Originaria de América del Sur, de Bolivia y Perú. Es una de las solanáceas más cultivada en el mundo, debido principalmente a que tiene tres destinos de consumo: fresco, pimentón y conserva (Fernández Barbero 2007; Reche Mármol 2010).

La superficie cultivada a nivel mundial para el año 2003, fue de 1.700.000 ha con una producción de 23 millones de t.año⁻¹. Destacándose el continente asiático; los otros continentes con una importante producción son África y Europa. En América los países con mayor superficie son Estados Unidos y México (Nuez et al. 1996; Reche Mármol 2010).

En Argentina, el pimiento se realiza en zonas con distintas situaciones agroecológicas, desde Salta hasta el Norte de la Patagonia, tanto a campo como bajo cubiertas plásticas, pero por ser una especie tropical sensible al frío se ha impulsado mayormente su producción bajo cubierta (SENASA 2009). Según el CNA (2002), hay 700 ha de producción bajo cobertura plástica. Distribuyéndose en tres zonas principalmente: Nordeste (293 ha), donde la provincia de Corrientes es la más importante; Noroeste (208 ha), se destaca la provincia de Salta; y finalmente la Provincia de Bs. As. (147 ha), en especial el Cinturón Hortícola Bonaerense con 113 ha (Molina et al. 2011).

Si bien, no se cuenta con datos oficiales, se puede estimar que la superficie nacional se ha incrementado, ya que los últimos datos del censo provincial 2005 señalan una superficie de 156 ha solo en el Cinturón Hortícola Bonaerense (CHFBSAS 2005).

Argentina produce 120 mil t.año⁻¹ (SENASA 2009), esta producción parece baja al compararla con otros países productores. No obstante, si se la contrasta con la información publicada de años anteriores, se observa que la misma ha crecido más del 200% desde el año 1991 (Nuez et al. 1996).

2.2.2. Descripción de la planta y requerimientos

La planta de pimiento tiene un tallo principal, que puede llegar a una altura de hasta 2m. Su crecimiento es erecto, hasta la cruz, a partir de la misma se ramifica en forma dicotómica. El sistema radical es pivotante y profundo, con numerosas raíces adventicias, encontrándose el 75% de su volumen entre los primeros 20-30cm de profundidad del suelo, con una gran densidad horizontal. Las hojas son alternas, lanceoladas y enteras y pueden llegar a medir, en estado adulto unos 20cm de largo y 11cm de ancho. Las flores son actinomorfas, hermafroditas y solitarias. A los 25-30 días desde la plantación, cuando la planta tiene entre 10-15 hojas verdaderas, puede comenzar la floración. La fecundación comienza a los 45-50 días desde plantación, transcurriendo otros 25-30 días para su recolección en verde. El fruto es una baya hueca, de color y tamaño variable, puede llegar a pesar hasta 500grs. (Nuez et al. 1996; Reche Mármol 2010).

Existen tres grupos varietales de pimiento: las variedades dulces, las variedades picantes y las variedades a partir de las cuales se obtiene el pimiento para pimentón. Los pimientos dulces son los que más se cultivan bajo cubierta y son principalmente para consumo en fresco, los colores pueden ser verde, rojo o amarillo (Reche Mármol 2010). Dentro de las variedades de tipo dulce, se encuentran tres tipos de pimientos: California, Lamuyo y Dulce italiano. En Argentina la variedad que más se adapta y la más difundida, con mayor superficie implantada, es el tipo Lamuyo (SENASA 2009).

2.2.2.1. Requerimientos agroclimáticos

Temperatura_. En el crecimiento del cultivo influyen dos temperaturas: la del suelo, que afectará principalmente el enraizamiento y la actividad biológica del mismo y la temperatura del ambiente que tiene que ver con el desarrollo de la planta (transpiración y respiración). De acuerdo al estado fenológico, el pimiento se adaptará a distintas temperaturas de crecimiento y desarrollo. No obstante, las temperaturas máximas no deben superar los 35-40°C y las mínimas no ser inferior a 13°C. Si la temperatura ambiente, se eleva por encima de los 35°C, la planta manifestará síntomas de estrés, que en el periodo de floración y cuajado produce caída de flores y frutos respectivamente. Si la temperatura cae por debajo de 10°C se reducen las funciones fisiológicas, llegando a tener un cultivo con plantas compactas. (Nuez et al. 1996; Reche Mármol 2010; Valle Mendoza 2010).

Humedad_. El pimiento durante su desarrollo vegetativo exige una humedad ambiental entre el 50-70% y en la floración y fructificación, humedad menor al 70%. Con humedades elevadas durante fructificación habrá menor transpiración, con el posible agrietamiento de los frutos y menor asimilación de nutrientes, con mayor probabilidad de incidencia de enfermedades. Por el contrario, si la humedad es baja y esta acompañada de elevadas temperaturas, la planta puede transpirar en exceso, con peligro de estrés hídrico, reduciendo la fotosíntesis y aumentando la posibilidad de caída de flores y frutos (Fernández Barbero 2007), además de aumentar la posibilidad de que se produzca podredumbre apical, por no poder asimilar el calcio (Reche Mármol 2010).

Luminosidad_. El pimiento tiene altos requerimientos lumínicos. Con un nivel sub-óptimo, habrá una elongación de los tallos, siendo más delgados y débiles de lo normal, y posible caída flores y aborto de frutos. También, se afectará la fotosíntesis, transporte y distribución de los fotoasimilados.

La falta de luminosidad es común observarla en los cultivos bajo cubierta ya que en muchas ocasiones la transparencia de los plásticos se encuentra afectada por envejecimiento, o falta de limpieza (Núez et al. 1996).

2.2.2.2. Requerimientos edáficos y nutricionales

Requerimientos edáficos_. Si se compara el pimiento con otra solanácea de fruto como el tomate, es más exigente en suelo y agua, y menos resistente a la salinidad. Los suelos deben ser profundos, ricos en materia orgánica, bien aireados y permeables, siendo poco resistentes a las condiciones extremas de humedad. Por lo tanto, con excesos de humedad se produce asfixia radical con aborto de flores; y con déficit, las hojas se abarquillan y se tornan oscuras, produciéndose además, caída de flores (Núez et al. 1996; Fernández Barbero 2007).

Es un cultivo sensible a moderadamente tolerante a la salinidad en todos los estados fenológicos (Reche Mármol 2010). La salinidad elevada, genera sequía fisiológica con clorosis, quemaduras en hojas y defoliación, baja tasa de transpiración, maduración prematura de los frutos, marchites de las plantas y reducción del rendimiento (Núez et al. 1996; Villa Castorena et al. 2006).

En la **Tabla 2.3**, se presenta los niveles de CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el extracto de saturación, a partir de los cuales comienza a reducirse el rendimiento o el rendimiento es nulo. En la misma, se puede observar de acuerdo al autor, que por encima de 1,5 a 2,2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, el rendimiento comienza a verse afectado, y con valores de 8,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ el rendimiento puede ser nulo.

CE($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Maas (1990) en Ben-Gal et al.(2008)	Chartzoulakis y Klapaki (2000)	Porta et al. (1994)	Reche Marmol (2010)
Nivel que no afecta el rendimiento	1,5	1,8	2	2,2
Nivel con rendimiento nulo	s/d	10,3	s/d	8,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3. Niveles de CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a partir de los cuales se afecta el rendimiento del cultivo de pimiento.

Requerimientos nutricionales_. El principal evento fenológico que modula las fluctuaciones de nutrientes dentro de la planta, es la fructificación. Consecuentemente se divide el crecimiento y consumo de nutrientes en dos etapas, la primera en la cual se presenta un crecimiento lento en donde predomina el desarrollo vegetativo y se produce una baja extracción de nutrientes y la segunda en la cual el crecimiento es más rápido, con desarrollo de hojas, flores y frutos, con mayor consumo de nutrientes (Nuez et al. 1996).

El nitrógeno será más demandado durante los primeros estadios y si se presenta en exceso a partir de las primeras recolecciones de frutos verdes, se retrasará la maduración (Rincón et al. 1993).

La mayor demanda de fósforo, coincide con la aparición de las primeras flores y con el periodo de maduración de la semilla. Asimismo, su efecto sobre las flores dependerá de la disponibilidad del amonio (Mengel y Kirkby 2000). El exceso de fósforo, puede enmascarar los síntomas de deficiencia de Zn^{2+} . Por lo tanto, incrementos de fósforo acompañados de salinidad, son los principales problemas nutricionales de deficiencia de Zn^{2+} (Günes et al. 1999).

El potasio, es demandado en forma progresiva hasta floración. Su disponibilidad afecta al fruto, influyendo sobre la precocidad, coloración y calidad del mismo. Además, tiene efecto directo sobre la turgencia celular, controlando la apertura y cierre estomático. Por consiguiente, en situaciones de estrés salino cuando la planta tiene buen nivel de K^+ , le brinda la posibilidad de hacer más eficiente el uso de agua y soportar mejor condiciones de dicho estrés (Mengel y Kirkby 2000).

Azofeifa y Moreira (2005) realizaron un estudio acerca de la absorción y distribución de nutrientes en un cultivo de pimiento dulce, y en el mismo observaron que hubo una mayor absorción de K^+ , seguido de N, P, Ca^{2+} , S y por último el Mg^{2+} . La mayor tasa de absorción de los nutrientes ocurrió en la etapa de formación y llenado de fruto, y determinaron que al final del ciclo la planta acumula estos nutrientes en el fruto, a

excepción del Ca^{2+} , este último tiene especial importancia en la parte aérea. Según Rincón et al. (1993) para producir 100 t.ha^{-1} , el pimiento extrae 293 kg.ha^{-1} de N, 76 kg.ha^{-1} P_2O_5 , 460 kg.ha^{-1} K_2O , 121 kg.ha^{-1} CaO y 63 kg.ha^{-1} MgO .

De Pascale et al. (2003) al analizar el contenido de Ca^{2+} en la planta de pimiento, en un medio salino, determinan que se favorece la acumulación del mismo en hojas y que si la salinidad aumenta, la misma reduce el transporte de este nutriente al fruto aumentando la incidencia de blossom end rot, que es una necrosis o podredumbre apical que se manifiesta como una mancha parda, primero húmeda y luego seca, en la proximidades del ápice (Nuez et al. 1996).

2.3. Impactos ambientales de la producción hortícola

La agricultura mundial, en las últimas décadas se ha orientado hacia la “*revolución verde*”, incrementándose la dependencia de insumos sintéticos, y la intensificación de las prácticas productivas. Así, la búsqueda de mejorar la productividad y en consecuencia la rentabilidad, sin controlar las prácticas implementadas, ha contribuido al deterioro ambiental. La horticultura no escapa de esta situación, por el contrario al intensificar las prácticas productivas induce a que el deterioro sea aún más rápido. Por lo tanto, hay una degradación de los recursos no renovables como el suelo, una sobre explotación y alteración de la calidad del recurso agua, una pérdida de biodiversidad biológica, una expansión de monocultivos y disminución de rotaciones.

Para la FAO (2007) los problemas sociales, económicos y productivos, generados por la horticultura, que afectan a la sustentabilidad del sistema son: cercanías a los centros urbanos, elevado número de productores y empleados que provocan mayor contaminación, alto grado de intensificación de la producción, cadena de comercialización con alto número de actores, falta de concentración de la producción, alta cantidad de negocios minorista con difícil control, el destino de la producción que es principalmente a mercados internos por lo tanto no se aplican normas de control.

El área de producción de hortalizas ubicado en las cercanía de las grandes ciudades se denomina “*cinturón verde*”, los mismos cuentan con quintas y huertas familiares y comerciales, que abastecen como primer objetivo a la población urbana que rodean (Fernández Lozano 2012). A pesar de que la cercanía pueda encontrarse como una ventaja, constituye un verdadero riesgo socio-económico-ambiental, donde el término de sustentabilidad en su comprensión más amplia adquiere especial significado, ya que los intereses de los diferentes sectores sociales involucrados se contraponen y compiten por el uso de los recursos (Alconada 2010). Los principales problemas son el aumento del valor de la tierra, contaminación química y biológica de las napas, degradación de los suelos, alta incidencia de plagas y enfermedades, escasos recursos financieros y desconocimientos de costos, entre otros (Fernández Lozano 2012).

2.3.1 Situación actual de los sistemas productivos intensivos en el Área Metropolitana Bonaerense (AMBA)

Para hacer el análisis de la situación de los sistemas productivos intensivos se ha utilizado como referencia, los diagnósticos realizados por el Instituto Nacional de

tecnología agropecuaria (INTA 2011a; 2011b). En dichos informes se destacan como principales problemas, la falta de incorporación de tecnologías de bajo impacto ambiental al esquema productivo, la contaminación por el uso excesivo y sin control de agroquímicos, la contaminación microbiológica por la utilización de estiércoles, la acumulación de residuos, y la degradación de los suelos vinculada al uso intensivo de los mismos. Concluyendo, que la situación de la producción intensiva florícola-hortícola en el Área Metropolitana de Buenos Aires, tiene muchos problemas que afrontar. No obstante, este informe destaca que existen numerosas prácticas que pueden ser mejoradas y que se las puede considerar como oportunidades promisorias.

Así señala como oportunidades, la demanda creciente de la población de productos alimenticios saludables y de calidad; y la mayor conciencia de la población sobre temas ambientales. Destacando también, que cada vez existen más productores interesados en formas de producción con bajo impacto ambiental.

2.4 Manejo de los sistemas protegidos

Como se ha mencionado anteriormente, los “*sistemas protegidos*” son aquellos en donde se cultiva bajo coberturas plásticas en una construcción que se denomina “invernáculos o invernadero”. Si bien existen distintos diseños cada región productiva adopta la más acorde a sus características climáticas y a sus posibilidades económicas. La zona del Gran La Plata, utiliza los invernáculos “tipo capilla” a dos aguas. Los mismos tienen una pendiente del techo que varía entre 15 y 35 °C, ventanas laterales y en algunos casos ventilación cenital. Son construcciones de madera, en la gran mayoría de los casos, en donde el tamaño es variable (Bouzo et al. 2009). En la **Figura 2.2** se presenta a modo de ejemplo, los invernaderos de la región donde se puede visualizar el interior y exterior de los mismos.

Bajo este sistema productivo, se cultivan distintos tipos de especies, y si bien existen características específicas de producción para cada una, la preparación del suelo y las labores culturales son comunes a todas. Preparación de la cama de siembra de asiento o trasplante; laboreos mecánicos, arado y subsolado, para mejorar la estructura del suelo y favorecer el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de la materia orgánica; armado de los lomos, surcos o canteros (Szczeny et al. 2014).

Se incorpora, por lo general abonos orgánicos, como cama de pollo o de caballos de carrera, y/o enmiendas inorgánicas como yeso y en algunos casos azufre. Esta última práctica es común en aquellos sitios con varios años de producción, y el productor visualiza la degradación del suelo. No obstante, se incorporan sin un análisis previo del suelo y sin un conocimiento certero de su efecto en el mismo.

Los abonos orgánicos mencionados, se originan en lugares muy cercanos a la zona productiva. Por ende, se consiguen fácilmente, y los costos son relativamente bajos. Por consiguiente, ambas camas son incorporadas, no por conocimientos de sus propiedades y efectos en el suelo, si no por el fácil acceso y el bajo costo. Cabe destacar, que el objetivo que tiene el productor al realizar estas prácticas es aumentar la materia orgánica del suelo y consecuentemente mejorar las características físico químicas del mismo. Sin embargo, esto no se visualiza en la zona y por el contrario se producen

degradaciones del suelo por la elevada salinidad que tienen estos productos (Alconada 2010).

Luego de estas labores, se realiza la desinfección del suelo, para controlar enfermedades y nemátodos, debido a que luego de varios años de producción y la falta de rotación de cultivos es común la proliferación de los mismos. El sistema más desarrollado en la zona, por su efectividad, es la desinfección química con el bromuro de metilo. No obstante, por su efecto nocivo en el medio ambiente, se está difundiendo su reemplazo por otros productos químicos, o bien por alternativas biológicas y/o físicas, como por ejemplo, vapor, solarización, biofumigación, uso de trichodermas, etc (Alconada 2004; Adlercreutz 2009; Colombo et al. 2009).

Finalizada la etapa de preparación del suelo, se implanta el cultivo, con su correspondiente sistema de riego y se determina la fertilización del mismo. Generalmente el sistema de riego es por goteo y la fertilización se aplica por fertirrigación. Si bien esta práctica está muy difundida, la realidad es que en muchos casos se aplica una “receta de fertilización” sin considerar las características físico-químicas del suelo de cada quinta y la adecuación de la fertilización a la misma (Szczeny et al. 2014).



Figura 2.2. Invernaderos del Gran La Plata, vista del exterior e interior. Producciones hortícolas y florícolas.

En la **Figura 2.3** se muestra alguna de las labores mencionadas, en la misma se puede observar la preparación de la cama de siembra, desinfección del suelo y preparación del suelo.



A-Desinfección del suelo; B-Preparación suelo; C- Pila de compostado; D-Aplicación cama de gallina, mezclada con cáscara de arroz

Figura 2.3. Labores realizadas en las producciones horti-florícolas del Gran La Plata.

2.4.1 Manejo del agua de riego

El riego es un elemento básico para el desarrollo agrícola, sobre todo en los sistemas bajo cubierta, en donde el agua es suministrada únicamente por este medio. El sistema de riego a adoptar dependerá de la especie a cultivar, de la disponibilidad y calidad de agua, de las características edáficas, del nivel económico y tecnológico del productor. Existen distintos sistemas, como riego por surco, por aspersión, por goteo. Este último, es el más utilizado en los sistemas de producción bajo cubierta. Se caracteriza por la aplicación del agua en forma localizada, con lo que se logran mayores eficiencias, además de que por sus características se puede utilizar en condiciones de suelo y aguas marginales (Szczeny et al. 2014).

Históricamente la variable cantidad de agua aplicada era la de mayor importancia, pero en la actualidad la calidad del agua es de mayor relevancia. El termino “*calidad del agua*”, hace referencia a las características que tiene esa agua para cumplir con los requisitos de acuerdo a la utilización que se le dará. La calidad de agua para riego pone énfasis en las propiedades químicas de la misma, aunque el efecto de su aplicación

dependerá de otros factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el tipo de producción y el tipo de cultivo (Bresler et al. 1982 citado por Báez 1999).

Respecto al origen de las sales en los suelos, si bien pueden ser diversos, destacándose en la región de estudio un elevado agregado de fertilizantes, calidad de agua de riego y características del suelo a regar (Alconada y Zembo 2000; Alconada et al. 2006), en todos los casos se requiere un adecuado manejo del agua. Dicho manejo, para esta y otras condiciones productivas debe ser realizado conforme las condiciones de clima, tipo de suelo, manejo productivo (fertilización), calidad de agua y sistema de riego (Gulhati y Smith 1967; Pla Sentís 1993).

Se destaca, en diferentes estudios, el efecto negativo sobre el suelo de aguas con elevados contenidos de bicarbonatos y de sodio (Villafañe y Pla 1994; Pla Sentís 1993; Pizarro 1978; Nijensohn 1972). Así, el riego con este tipo de agua, aumenta el nivel de CE, pH y PSI en el suelo, afectando el comportamiento físico, la estabilidad del suelo y la dinámica del agua (Peinemann et al. 1998; Costa y Aparicio 1999; Marano et al. 1999; Andriani 2009).

En la región del Gran La Plata se encuentran degradaciones de suelo vinculadas a la salinización-alcalinización debido al riego con aguas bicarbonatadas sódicas. Las aguas utilizadas para el riego en la misma son clasificadas por Pla Sentís (1983) por el contenido de sodio y en función de la infiltración de los suelos en aguas regulares, malas o muy malas para su uso agrícola (Alconada y Zembo 2000).

Por lo expuesto, resulta necesario estudiar la calidad de agua conforme a algún procedimiento que considere no sólo el agua sino también el suelo donde será aplicada (Pizarro 1978; Ayres y Wescott 1987; Pla Sentís 1988).

2.4.2. Enmiendas inorgánicas

Las enmiendas inorgánicas como yeso, azufre, calcita, cloruro de calcio, carbonato de calcio y fosfoyeso, se adicionan al suelo con el objetivo de aumentar la concentración del ión Ca y así reemplazar al ión Na. Al ser incorporadas, neutralizan suelos alcalinos y salinos, mejorando la estructura y la permeabilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Pizarro 1978; Oneyda Hernández 2000). Además mejora la absorción de nutrientes esenciales como el P y N (López Aguilar et al. 2012). En la región de estudio, las enmiendas más utilizadas son en primer lugar el yeso y en menor proporción el azufre.

El sulfato de calcio “yeso” en sus formas minerales, tradicionalmente ha tenido otros usos. No obstante, por su efecto en los suelos salinizados y por consiguiente en la mejora de los rendimientos de los cultivos, en los últimos años su utilización con fines agrícolas ha aumentado en nuestro país (Ponce y Duggan 2005).

De acuerdo con la norma IRAM 22452, se considera yeso agrícola al sulfato de calcio dihidratado, que proviene de roca natural y que se puede emplear como enmienda o bien como fertilizante (Gambaudo 2006). En su forma química pura, contiene 18,6% S-SO₄ y 23% de Ca²⁺. Sin embargo, los yesos agrícolas comercializados tienen una riqueza menor debido a las impurezas (Ponce y Duggan 2005)

El mecanismo de acción del yeso en el suelo, es el desplazamiento del Ca^{2+} por el Na^+ de los sitios de intercambio, aumentando la fuerza iónica alrededor de las partículas del suelo (Renjasamy y Olsson 1991 en López Aguilar et al. 2012). No obstante, para que el yeso actúe como mejorador, una vez producido el intercambio, el Na^+ debe ser eliminado por lixiviación y drenaje (Pizarro 1978). Por lo tanto, para recuperar suelos alcalinos, la calidad y la cantidad del agua necesaria para disolverlo, lixiviar las sales y reducir la sodicidad es muy importante (Gupta et al. 1985). Además la incorporación de yeso al suelo permite la floculación de los suelos, condición necesaria para la formación y estabilización de la estructura del mismo (Pizarro 1978).

Cabe destacar entonces que la incorporación en suelos con drenaje deficiente, produce un aumento de la salinidad del suelo (Ilyas et al. 1997). Además de que aplicaciones excesivas pueden ocasionar distintos problemas, como: deficiencia de P y en suelos arenosos, podrá haber un excesivo lavado de Mg^{2+} y K^+ . En la región de estudio en términos generales, se recomienda incorporar dosis de yeso que no provienen de experimentaciones en el lugar, sin embargo se destaca que Balcaza (2001), Andreau et al. (2012) ensayan y recomiendan aplicaciones de 500-600 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no especificando las condiciones bajo las cuales esto puede ser válido. Esta cantidad resulta insuficiente para reemplazar la cantidad de sodio que se encuentran en estos suelos de la región.

Al respecto, diferentes trabajos han evaluado el efecto de la incorporación de yeso como enmienda en suelos con alto contenido de arcilla, y han encontrado que el agregado de yeso no mejoró la permeabilidad del suelo y por el contrario, condujo a un ligero incremento de la salinidad y del pH (Alconada et al. 2000; Longo et al. 2005; Cuellas y Delmazzo 2013). Por lo tanto, la mejor forma de aplicar yeso y que no produzca efectos negativos al suelo, es realizar análisis químico del suelo a partir de los cuales se puede determinar dosis de aplicación (Korcak 1998) y además tener en consideración las características físicas del suelo (Pizarro 1978).

Por consiguiente, aunque el uso de enmiendas inorgánicas esta difundido en la zona por el bajo costo de aplicación, resulta primordial conocer el grado de modificación de las propiedades edáficas, según la naturaleza y la cantidad de la enmienda a aplicar, como así también la duración del efecto modificador (Sasal et al. 2000).

2.4.3. Enmiendas orgánicas

Los abonos orgánicos son aquellos materiales que se incorporan al suelo para promover la fertilidad, mejorar la estructura y aumentar las poblaciones microbianas (Lee et al. 2004 citado por Romaniuk et al. 2010). La calidad de los mismos se determina por sus características físicas, químicas y biológicas. No obstante, en la gran mayoría de los casos, son aplicados sin conocerlas. Así se manifiestan como principales inconvenientes en el uso de este tipo de materiales: la falta de conocimiento técnico, de análisis y seguimiento en la aplicación, la dosificación inadecuada, el desconocimiento acerca del tiempo de degradación y del impacto que estas prácticas tienen en el cultivo. Diferentes autores destacan que al tiempo en que estos abonos son aplicados se visualizan efectos adversos, como aumento de la salinización del suelo (Sasal et al. 2000; Salazar Sosa et al. 2003; 2004; Pérez et al. 2008).

Las enmiendas orgánicas que se utilizan en la región del Gran La Plata, a fin de mejorar la estructura del suelo, ya que la nutrición química se aporta a través del fertirriego, son principalmente estiércoles de gallina, caballo y vacuno en diferentes camas (paja, afrechos, afrechillos de arroz, girasol). En todos los casos, aportan altos contenidos de sales y un gran número de elementos contaminantes, asimismo elevan el pH. Por ejemplo, los estiércoles de uso frecuente, tienen aproximadamente 5 dS.m⁻¹ CE, pH entre 7-8 y concentraciones de micronutrientes como B, Zn y Cu, de 250-400 ppm, 62-157 ppm y 11-247 ppm respectivamente (Alconada 2004).

Cabe destacar entonces, que si bien hay numerosos artículos en los que se estudia los cambios producidos en las propiedades del suelo luego de la aplicación de enmiendas, aún en la actualidad, todavía hay muchos resultados inconclusos e incluso hasta contradictorios (Albiach et al. 2000 en Romaniuk et al. 2010). Por consiguiente, antes de incorporar al suelo una enmienda orgánica, resulta necesario evaluar las características de la misma y las del sistema productivo. Debido a que cualquier modificación que realicemos, debe ser estudiada y analizada, para no provocar efectos contraproducentes.

2.4.4. Fertilización

Para realizar una fertilización adecuada, hay que considerar: el nivel de nutrientes óptimo para el cultivo según su estado fenológico, la productividad que se quiera alcanzar, el nivel y el tipo de nutrientes en el suelo. Es importante, que no haya un exceso de nutrientes, ya que la sobre dosificación, favorece la ocurrencia de desequilibrios nutricionales, cambios en la reacción del suelo, salinización, alteración de la microflora y fauna edáfica, contaminación de napas freáticas, y contribuye al calentamiento global (Cabrera et al. 2007).

Los daños por salinidad causados por el uso excesivo de fertilizantes son frecuentes en la horticultura intensiva bajo cobertura plástica. Esto se debe a la acentuación de los procesos de transpiración y evaporación, a la ausencia de lavado. López Mosquera y Macías (1993), realizaron un estudio acerca de las problemáticas de los cultivos bajo cubierta de la zona de Galicia, y encontraron que un 65% de las tierras estaban salinizadas y esto se debía principalmente al aporte excesivo de fertilizantes, encontrando elevadas concentraciones de diferentes cationes como Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, NO₃⁻, K⁺. Mogollón et al. (2001), establecieron como problema relevante en zonas de horticultura intensiva de Venezuela la salinización producida por el empleo de fertilizantes sin criterios técnicos, sin adecuarlos a los tipos de suelo y cultivos, teniendo como consecuencia final la drástica disminución de la producción y hasta abandono de las tierras.

La región del Gran La Plata, no es ajena a esta situación, por el contrario, es común la recomendación, con frecuencia, de altas dosis de fertilización, especialmente con ácido fosfórico, desde diferentes ámbitos, instituciones estatales, agrupaciones y asesores privados (Balcaza 1996; Balcaza 2000). Por lo general, las recomendaciones resultan de una transferencia de tecnología desarrollada para otras condiciones ambientales e incluso sistemas productivos. Así, con frecuencia, se maneja al suelo como un medio inerte, siguiendo curvas de absorción de nutrientes desarrolladas en cultivos sin suelo. Consecuentemente, no se consideran las interacciones entre nutrientes que se producen

en el suelo, ni los aportes provenientes de la materia orgánica y de abonos orgánicos aplicados en altas dosis (Alconada 1996).

Coincidentemente, Flores et al. (2007), realizaron un análisis del balance de nutriente, en la región de La Plata. En el mismo encontraron una aplicación excesiva de fertilizantes, producto de la fertilización en base a “*recetas*”, sin considerar tipo de fertilizante, dosis, extracción de cada cultivo, riqueza del suelo. Llegando a encontrar en algunos casos, un exceso de $600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Afectando a las propiedades físico-químicas del suelo y a las aguas subterráneas, y al desarrollo del cultivo.

Por lo tanto, se considera, que en la actualidad uno de los mayores problemas socio-ambientales que enfrenta la horticultura del Gran La Plata es el alto uso de agroquímicos y fertilizantes (Bocero 2002; Souza Casadinho 2008 citados por Stupino et al. 2012).

Existen, además, diferentes estudios que demuestran que el uso excesivo de fertilizantes al mismo tiempo de contaminar y degradar el medio ambiente aumentan los costos productivos. A modo de ejemplo se pueden mencionar, los realizados por Alconada et al. (2004a, 2004b, 2006), en un cultivo de tomate protegido, donde no encuentran un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo al aumentar las dosis de fertilizantes. Por el contrario estos autores, manifestaron que el aumento de las dosis provoca situaciones de hiperfertilización.

Así en estudios realizados por Giuffré et al. (2004), se demuestra que en la región de estudio, se llegan a encontrar valores frecuentes entre 200–300 ppm de P asimilable y extremos de hasta 1000 ppm de P asimilable. En general, no obstante lo indicado, los rendimientos son moderados a bajos, con altos costos, e inestabilidad en los márgenes brutos (Alconada et al. 2011).

Coincidentemente, Mollinedo et al. (2007), en un cultivo de pimiento protegido, encontraron que el aumento de la dosis de fertirrigación no produjo un aumento de rendimiento. Asimismo, en estudios realizados en un cultivo de tomate protegido, Amma y Del parco (2007) determinaron que suelos bien provistos de K^+ no presentaron una respuesta positiva frente a incrementos en la dosis potásica aplicada por fertirrigación. Hochmuth y Cordasco (2008) también en un cultivo de tomate experimentaron pruebas con diferentes dosis de N, P y K, y no encontraron respuesta favorable a dosis crecientes de fertilizantes, por el contrario, con altas dosis de N se produjo un efecto negativo en el rendimiento. Sainju et al. (2003) indica también disminuciones de rendimientos con elevada fertilización.

Por consiguiente, *“una de las principales causas de degradación de los suelos agrícolas es el uso indiscriminado de fertilizantes, buscando mayores incrementos en los rendimientos de las producciones agrícolas a costa de un beneficio inmediato, aún conociendo que su uso irracional se revierte en consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente”* (Hernández Díaz et al. 2008).

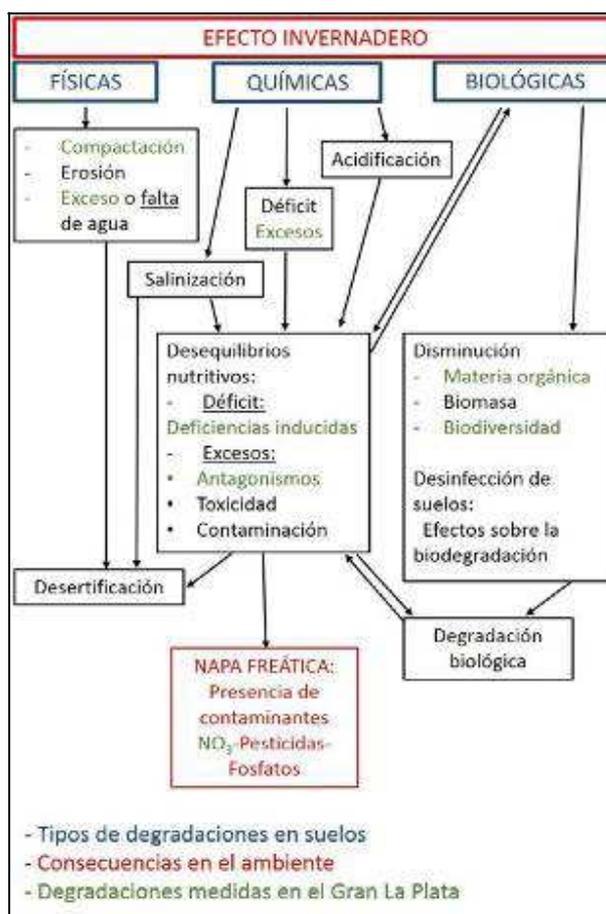
2.5. Degradaciones en sistemas intensivos

Pla Sentís (2006a), compara la degradación de los suelos, y la pone en el mismo orden de importancia, con otros procesos como el calentamiento global, y la pérdida de biodiversidad. Manifestando, que cuando los suelos pierden su capacidad potencial de producir alimento, por ser la base de la producción agrícola, se ponen en riesgo las necesidades económicas, sociales y ambientales de la población. Asimismo, estos tres procesos están íntimamente ligados y persiguen un mismo objetivo asegurar un desarrollo sustentable (López Bermúdez y Romero Díaz 1998).

Si bien, los problemas derivados del uso intensivo del suelo no suceden en forma idéntica en diferentes lugares del mundo, pueden establecerse tendencias. Pla Sentís (2006a) señala que en general, la ausencia de experimentación-investigación ajustada a las condiciones productivas de cada región es la principal responsable de la falta de sustentabilidad de los esquemas productivos intensivos, que conduce a degradaciones y contaminaciones, revirtiendo las ventajas que presentan. Esto es coincidente con lo que sucede en la región de estudio.

Por lo tanto, el punto de partida es comprender el sistema en el cual se está trabajando, considerando al suelo como un subsistema que se integra en otros y que tendrá un efecto directo sobre el sistema global ambiente, de cuya perdurabilidad depende el éxito de un productor y de la comunidad en general.

Al respecto, se presenta en la **Figura 2.4** las vías y procesos de degradación en los suelos y sus consecuencias en el ambiente y las degradaciones que han sido detectadas en la región del Gran La Plata.



(Fuente Alconada 2010)

Figura 2.4. Principales degradaciones de los suelos y observadas en el Gran La Plata. Consecuencias en el ambiente.

Consecuentemente en la región del Gran La Plata (Alconada et al. 1999; Alconada et al. 2000; Alconada 2010); así como en otras áreas productivas del país, y del mundo (Stirzaker 1999) se observan claras situaciones de degradación y contaminación que reducen drásticamente los rendimientos e incrementan costos.

Como se ha mencionado con anterioridad (punto 2.4) entre las prácticas que contribuyen a la degradación de los suelos se destacan la hiperfertilización, el agregado de enmiendas orgánicas sin control, el riego con aguas de baja calidad, el manejo inadecuado del sistema, entre otras. Conduciendo a la ocurrencia de degradaciones física, físico-química, química y biológica en el suelo, con diferente magnitud (Poncetta et al. 2006).

La salinización y la alcalinización, asociadas al deterioro de la estructura, encharcamiento, desarrollo de enfermedades, y desequilibrios nutricionales son las **principales limitantes de origen edáfico** sobre la producción hortícola protegida (González y Amma 1976; Ramos y Peinemann 1981; Alconada y Huergo 1998; Alconada et al. 2004b).

2.5.1 Salinización y alcalinización

Las causas de la salinización pueden ser naturales o antrópicas, esta última denominada también salinización secundaria, es consecuencia de un manejo inadecuado del sistema agua-suelo, debido principalmente a la calidad y cantidad de agua de riego aplicada en suelos con dificultades de drenaje y al uso excesivo o al mal uso de fertilizantes (Pla Sentís 2006a). Según el tipo de agricultura, existen diferentes causas, así los suelos de secano deben su salinidad principalmente a causas naturales, mientras que los que se encuentran bajo regadío se debe principalmente a una gestión de riego inadecuada (Martínez Beltrán 2006).

Dentro de las prácticas antrópicas, de mayor influencia se pueden mencionar: destrucción de los sistemas de drenajes naturales, riego con agua de mala calidad y sin la utilización de un sistema de drenaje adecuado, explotación de la tierra sin un previo análisis de la aptitud agrícola de la misma, intensificación de los monocultivos, suelos desnudos provocando aumento de la temperatura y consecuentemente evaporación y ascenso de sales, uso de maquinarias sin considerar las características físico-químicas del suelo (González 2005; Pla Sentís 2006a). También hay que considerar la utilización de prácticas agronómicas incorrectas como: el exceso de fertilización química, labores de drenaje, aplicación de enmiendas orgánicas (Lamz Piedra y González Cepero 2013).

González (2005), consideró que en el manejo de los problemas vinculados a la salinización del suelo no solo inciden factores técnicos, sino además, socio-económicos y culturales, destacando la importancia de la corrección de las causas que conducen a dicha degradación, ya que los altos costos que implican la solución del problema, con frecuencia limitan la recuperación de tierras.

2.5.1.1 Descripción del proceso

La salinidad, provoca que los suelos estén bajo la influencia dominante de diferentes sales, tanto en la fase sólida como en la líquida. Afectando las características físicas, químicas y biológicas del mismo, y finalmente su fertilidad (Pessarakli y Szabolcs, 1999).

Los procesos de salinización y sodificación, están estrechamente vinculados, y a pesar de que cada uno tiene características particulares, se producen en muchas ocasiones en forma simultánea (Porta et al. 1994). La alta concentración de electrolitos es la única característica común de todos los suelos afectados por la salinidad. La química, morfología, pH y muchas otras propiedades pueden ser diferentes dependiendo del proceso predominante (Pessarakli y Szabolcs 1999).

Los suelos salinos, son aquellos que tienen suficiente cantidad de sales más solubles que el yeso, como para afectar el rendimiento de los cultivos. La sal más frecuente es el NaCl, pero puede tener distinto tipo y combinación de sales, son comunes los cloruros y los sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . La sodicidad se produce cuando en el suelo existe una elevada concentración de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina (Porta et al. 1994). Por lo tanto, son aquellos suelos que tienen suficiente proporción de sodio intercambiable como para producir el deterioro de las condiciones físicas del suelo y

afectar el rendimiento de los cultivos. Este tipo de suelos está distribuido en casi todas las regiones climáticas (Pessarakli y Szabolcs 1999). Por consiguiente, un suelo salino-sódico será aquel en el que se producen ambos procesos. Originando suelos agrupados bajo la denominación de halomórficos (Imbellone et al. 2010).

En los suelos sódicos, no hay una elevada concentración de sales, pero el pH elevado es el factor de estrés para las plantas, ya que limita su normal desarrollo, a diferencia del efecto que se encuentra en los suelos salinos donde la elevada concentración de sales, eleva la presión osmótica, e impiden el normal desarrollo de las plantas, además de que algunos componentes pueden resultar fitotóxicos (Pessarakli y Szabolcs 1999).

2.5.1.2 Efecto de las sales en las plantas

Una de las principales consecuencias de la salinidad es la disminución del rendimiento de los cultivos. Esto se origina especialmente por: un déficit hídrico, una toxicidad por iones y un desbalance nutricional (Porta et al. 1994)

El estrés hídrico se produce por una disminución del potencial osmótico del suelo, por el exceso de acumulación de solutos en el mismo. Afectando el gradiente de agua desde el suelo hacia la planta (proceso similar al encontrado por la sequía). Por consiguiente, la planta para disminuir la pérdida de agua por transpiración, disminuye la conductancia estomática, lo que implica un cierre de estomas. Este cierre, reduce el ingreso de CO² e inhibe la fotosíntesis. El efecto evidente de la reducción de la absorción de agua, se manifiesta con una reducción de expansión foliar y una pérdida de turgencia (Munns y Tester 2008)

La toxicidad por ión específico, ocurre por la captación y acumulación de ciertos iones tóxicos, los mismos pueden ser: el sodio, el cloruro y el sulfato. Estas sales, se acumulan en las hojas, y la lesión se produce porque el exceso de sales excede la capacidad de las células de compartimentar sales en la vacuola. Se asocia a este proceso, inhibición de la actividad enzimática y de la fotosíntesis (Lamz Piedra y González Cepero 2013).

Según Munns (2002), en Lauchli y Grattan (2007), el efecto de la salinidad en el cultivo se lo puede dividir en dos etapas: la primera ocurre a corto plazo, hay una reducción del crecimiento y se produce por efecto del potencial osmótico, y la disponibilidad de agua; la segunda se da a largo plazo (semana, meses), por efecto de la acumulación de ión o sal tóxico en la hoja, lo que provoca reducción de la fotosíntesis, muerte de hojas. Por consiguiente, los efectos varían con el tiempo de exposición al estrés salino. La primera instancia le ocurre a todas las plantas, sin embargo el efecto de la segunda dependerá del genotipo y de la capacidad de tolerancia a la salinidad que tenga la planta.

El desbalance nutricional es otra causa de la acumulación de iones tóxicos en la rizósfera, y esta dada por la interacción entre los nutrientes minerales. Este desbalance ocurre en las células por la acumulación excesiva de iones de Na⁺ y Cl⁻, que reduce la captación de K⁺, Ca²⁺ y Mn²⁺. Por lo tanto, al dificultarse la absorción de ciertos iones se produce déficit en los cultivos, afectando el normal crecimiento (Porta et al. 1994)

Por lo tanto, la salinidad afectará el crecimiento de los cultivos a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos como: fotosíntesis (Supanjani 2006), conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, necrosis, etc. En consecuencia las variables de crecimiento como peso seco, altura de la planta y área foliar estarán severamente afectadas (Pares et al. 2008, citado por Martínez Villavicencio et al. 2011).

No obstante, cada cultivo tendrá su propio umbral de tolerancia a la salinidad, que se modificará de acuerdo al estado fenológico del mismo, así habrá cultivos que son más sensibles o tolerantes durante la germinación o estado de plántula y otros, por el contrario lo serán durante el desarrollo y producción (Grattan y Grieve 1999; Goykovic Cortés y Saavedra del Real 2007).

2.5.1.3 Efecto de las sales en el suelo

La acumulación de cationes dispersantes como el Na^+ , favorece el desplazamiento de otros cationes en los sitios de intercambio, contribuye al incremento de cargas repulsivas (Broinck y Lal 2005 en Melani 2012) y aumenta el espesor de la capa de agua (Lopes et al. 1998 en Otero-Gómez et al. 2012), por lo tanto se produce la expansión y/o dispersión de las arcillas, alterando la geometría de los poros y afectando a su vez la permeabilidad y retención de agua en el suelo (Imbellone et al. 2010).

La salinidad esta sometida a una variabilidad continua, ya que la misma será modificada con la humedad, el estado nutricional (riqueza de cationes) y la profundidad del suelo. Por lo tanto, en función del contenido de materia orgánica, de los iones adsorbidos y los solubles se producirá la coagulación o la defloculación de las partículas (Grattan y Grieve 1999; Otero-Gómez et al. 2012). Con respecto al contenido de humedad, cuando el mismo es elevado, la presencia de sodio manifiesta con mayor intensidad los fenómenos de expansión y contracción, debido a que la arcilla dispersa puede capturar o liberar mayor cantidad de agua (Nannucci 2009 citado por Melani 2012).

Absorción de nutrientes en condiciones de elevada salinidad y sodicidad

La interacción entre la salinidad y la nutrición mineral es compleja; y depende del tipo de cultivo, de la concentración nutricional y composición de la solución del suelo, y de la salinidad (composición y nivel) (Grattan y Grieve 1999). La absorción de los nutrientes, en presencia de alto nivel de sales, se ve afectada por distintos procesos. Entre ellos se puede mencionar, la restricción en la actividad del transportador; la competencia entre los transportadores de iones; y los cambios químicos que ocurren en el plasmalema de las células de las raíces que alteran la permeabilidad de la membrana. Por lo tanto, las concentraciones nutricionales en el tejido foliar, serán afectadas cuando aumenta la salinidad (Porta et al. 1994).

Fósforo (P) . Se encuentra en la solución del suelo como fosfato y es absorbido en forma activa por las células de las raíces de las plantas, dentro de la planta es muy móvil y se transporta rápidamente (Mengel y Kirkby 2000). Elevadas concentraciones de P en el suelo, con elevadas concentraciones de Ca^{2+} , se formarán fosfatos de calcio, siendo los mismos no disponibles para las plantas (Cadahia 1998).

En un estudio realizado en un cultivo de pimiento bajo distintos niveles de salinidad, se encontró que altos niveles de P causa disminución del rendimiento, del peso fresco y seco de la planta y este efecto se acentúa bajo condiciones de salinidad (Günes et al. 1999).

Potasio (K^+). Es absorbido rápidamente por las plantas, pero con alto niveles de salinidad Na^+ disminuye la absorción. Esto se produce por el efecto antagónico entre ambos cationes (Magon et al. 2005; Supanjani 2006; Carranza et al. 2008). Por consiguiente, un nivel elevado de Na^+ , no solo es fitotóxico, si no que también provoca que haya una insuficiente concentración de K^+ para algunas reacciones enzimáticas y ajuste omótico (Mengel y Kirkby 2000).

Las relaciones K/Na y Ca/Na , son indicadores de la resistencia del cultivo a la salinidad. Así con elevada salinidad se obtienen bajo nivel en las relaciones (Turhan et al. 2009). Los cultivos buscan mantener niveles adecuados de estas relaciones en los tejidos celulares, así cuando los niveles de Na^+ en la raíz son muy elevados, se elimina hacia la lámina de la hoja, para mantener la relación entre los cationes (K^+ y Ca^{2+}) y tolerar más la salinidad (Chartzoulakis y Klapaki 2000).

Nitrógeno (N). La forma en que se encuentra en el suelo y su relación NH_4/NO_3 , influye en la absorción de nutrientes. Si la relación NH_4/NO_3 es elevada, la planta acumula más Na^+ y Cl^- en las hojas y por el contrario, si es baja, acumulará mayor cantidad de Ca^{2+} y K^+ . En condiciones de salinidad, por efecto antagónico, el NO_3^- será reemplazado por el Cl^- (Grattan y Grieve 1999, Bar-Tal et al. 2001).

La absorción del N en condiciones salinas dependerá del estado fenológico del cultivo. Así incrementos de la salinidad desde transplante a inicio de floración reducen la absorción de N, sin embargo desde inicio de floración a maduración la salinidad no afecta la absorción de N (Villa Castorena et al. 2006).

Calcio (Ca^{2+}). La inadecuada nutrición cálcica, causa pérdidas muy importantes en cultivos hortícolas. Su deficiencia se manifiesta en distintos tejidos de la planta (Grattan y Grieve 1999). No obstante, la más común es blossom end rot (BER), que se produce en frutos. Si bien, se manifiesta por distintas causas, en condiciones de salinidad la presencia de radicales libres producidos en grandes cantidades son los principales responsables, así alto nivel de Na^+ reduce el transporte y la absorción de Ca^{2+} (Grattan y Grieve 1999; Bar-Tal et al. 2001; Bar-Tal y Aloni 2005; Kowalska y Sady 2012).

Magnesio (Mg^{2+}). Se lixivia con facilidad y es absorbido por las plantas en cantidades muy bajas, menores que el K^+ y el Ca^{2+} , y compite con K^+ , favoreciéndose así deficiencias inducidas. Asimismo, al igual que lo mencionado para el Ca^{2+} , condiciones elevadas de Na^+ en el suelo disminuyen la absorción de Mg^{2+} por parte del cultivo (Mengel y Kirkby 2000).

Micronutrientes. La salinidad reduce la concentración de Manganeso en el tejido celular (Grattan y Grieve 1999) y aumenta la de Boro (Supanjani 2006). Asimismo, en condiciones de alto niveles de Na^+ , se disminuye la absorción de Zinc, pero no necesariamente cuando aumenta la salinidad (Grattan y Grieve 1999).

Aktas et al. (2005) citado por Bar-Tal y Aloni (2005), encuentran que en condiciones de alta salinidad, decrece la concentración de Mn^{2-} en frutos y hojas, por lo tanto también es muy importante el rol que cumple este catión en la incidencia de Blossom end rot.

En síntesis, la presencia de sales, por efecto de antagonismo nutricional y competencia, influye en la absorción, transporte y distribución de elementos minerales por parte de los cultivos (Mengel y Kirkby 2000)

2.5.1.4. Salinización y alcalinización en cultivos protegidos

Los suelos sobre los cuales se desarrollan los cultivos protegidos manifiestan problemas de salinización y alcalinización, debido a que intensifican las prácticas culturales de manejo. Estos procesos se producen en el corto-mediano plazo (Alconada et al. 2000). Al respecto Pessarakli y Szabolcs (1999), establecen que las producciones que se realizan en sistemas cerrados o semicerrados, en donde los productos químicos aplicados no pueden ser eliminados regularmente, se produce una acumulación de sales, lo que resulta en salinidad y sodicidad. Así en países donde la agricultura (horticultura) intensiva tiene una elevada superficie, como en China y países bajos, aparecen cada vez con mayor frecuencia, suelos salinizados.

La acumulación de sales en el suelo, es el factor principal que limita la producción en los cultivos bajo cubierta. Siendo el mayor responsable la aplicación en exceso de fertilizantes inorgánicos y en segundo lugar la evapotranspiración que favorece a la acumulación de sales en superficie (Zhang et al. 2006). Al respecto, López Mosquera y Macias (1993), en un estudio realizado en Galicia, España, comparan para un mismo sitio, el estado de los suelos bajo distintos sistemas de producción. Estos autores encuentran, que los suelos bajo cubierta, presentaban un fuerte grado de salinización con respecto a los suelos que estaban en el exterior; y explican este resultado por la acentuación de la transpiración y evaporación, la falta de lavado por el agua de lluvia y el aporte excesivo de fertilizantes y productos fitosanitarios, que se produce dentro de los invernaderos.

Zhang et al. (2006), al estudiar la concentración de sales en el suelo, según el sistema de producción y el tiempo bajo cobertura, encuentran mayor salinización en el suelo bajo cubierta respecto al que se encuentra a campo, y además los suelos que llevaban mayor tiempo cubiertos la salinización era mayor (comparando invernáculos de 1,4 y 10 años de producción). Coincidentemente, en un estudio realizado acerca de las producciones intensivas y sus consecuencias ambientales, en la zona Marplatense de Argentina, se manifiesta que la artificialización elevada de estos sistemas de producción, conducen a distintas degradaciones del suelo siendo entre ellas la salinidad una de las más importantes (Bocero 2002).

Al respecto, Tolón Becerra y Lastra Bravo (2010) en su estudio acerca de una de las comarcas de mayor importancia a nivel mundial de producción intensiva bajo cubierta, como la almeriense, manifiestan que los suelos bajo invernadero están sufriendo, por el aporte excesivo de fertilizantes y uso de aguas de mala calidad agrícola, procesos de degradación en sus características físico-químicas y en la acumulación de metales pesados. Por tales motivo, han tenido una transición del cultivo en suelo al cultivo sin

suelo (Muñoz Ramos et al. 2004). No obstante, dicha práctica en la actualidad esta siendo muy cuestionada por la cantidad de residuos que genera.

Sin embargo, investigadores como Chartzoulakis y Klapaki (2000), establecen que hay muy poca información acerca del efecto de la salinidad en cultivos bajo cubierta, debido que la mayoría de la investigación esta orientada a los cultivos a campo. Además De Pascale et al. (2003), manifiestan que la mayoría de las investigaciones se realizan en sistemas hidropónicos por un tiempo determinado, lo cual da una versión del problema, ya que no se esta teniendo en cuenta el efecto de la salinidad en el suelo y en el tiempo.

2.6. Recuperación de suelos en invernadero: Mejoras del drenaje

2.6.1. Sistemas de drenes

El mal drenaje influye en las propiedades físicas del suelo y por consiguiente, en el desarrollo del cultivo. Debido a que el exceso de humedad y la disminución en el contenido de aire, afectan el crecimiento de las raíces y la actividad microbiana. Así, las raíces disminuyen su respiración y sus actividades fisiológicas como la absorción de agua y la de iones. Los microorganismos aerobios del suelo se sustituyen por los anaerobios, provocando que el hierro y el manganeso pasen a sus formas solubles y provoquen toxicidad. Asimismo, se considera que la salinidad es consecuencia directa del mal drenaje del suelo, ya que las sales disueltas en el agua de riego, y las aportadas por otras prácticas agrícolas, son muy difíciles de eliminar sin un adecuado drenaje (Bejar 2005).

El drenaje agrícola reúne un conjunto de técnicas que permiten eliminar el exceso de agua y sales de la zona radical de los cultivos proporcionándole un medio adecuado para su desarrollo, buscando un equilibrio planta-agua-aire (Díaz et al. 1991; Bejar 2005). Al respecto la FAO (1985), considera que para mejorar la estructura de suelos densos, poco permeables y con problemas de salinidad, la utilización de drenes superficiales y subsuperficiales es una de las mejores opciones para implementar. Debido a que aquellas practicas como el volteo o aradura profunda tienen beneficios de corta duración, y además no producen una mejora de la estructura, ya que solo mezclan y deshacen capas de suelo, por consiguiente la aplicación sucesiva de las mismas puede hacerlos inviables económicamente.

Villafañe y Pla (1994) mencionan en sus estudios en suelos arcillosos de Venezuela, que la acumulación de sales en el perfil no sólo esta controlada por los aportes externos de las mismas, agua de riego y fertilizantes, sino que dependen directamente de las propiedades edáficas del suelo, debido a la reducida permeabilidad de los mismos que impide el desplazamiento en profundidad de las sales.

Las dificultades que se pueden llegar a presentar en un cultivo, por el exceso de sales y por la falta de aireación en la zona radical, se pueden resolver con un sistema de drenaje, ya que la capa activa del suelo aumenta dando la posibilidad a que el sistema radical se desarrolle correctamente y además se elimina el exceso de sales perjudiciales para el cultivo. Así el mismo, se desarrolla mejor y es menos vulnerable al ataque de

enfermedades y plagas aumentando su rendimiento (Coras Merino 2006; Polón Pérez et al. 2011).

Las prácticas de manejo ensayas a fin de mejorar el drenaje impedido, y consecuentemente efectuar el lavado de sales, son diversas, así como sus resultados, lo cual se asocia a las relaciones del sistema suelo-agua-planta. En FAO (1971), Pizarro (1978), Luthin (1990), describen ejemplos de aplicación de drenes, y enmiendas en la rehabilitación de suelos con problemas de drenaje y salinización.

Herrera Puebla et al. (2010), en estudios realizados en Cuba, señalan que el drenaje deficiente de suelos salinizados ha sido un problema olvidado, a pesar del costo productivo, social y económico que significa no tenerlo en cuenta.

Herve et al. (2002) manifiestan que sistemas de drenajes subsuperficiales, probados en un suelo franco arcilloso, reducen la conductividad eléctrica y favorecen la eliminación del ión sodio del suelo, asimismo estos autores expresan la falta de experimentaciones en este tipo de prácticas y la necesidad de avance en esta temática.

Wagner et al. (2004), encuentran que la instalación de un sistema de drenaje, acompañado de la aplicación de riego, logró reducir a lo largo de los años un 37% el nivel de sales en el suelo.

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

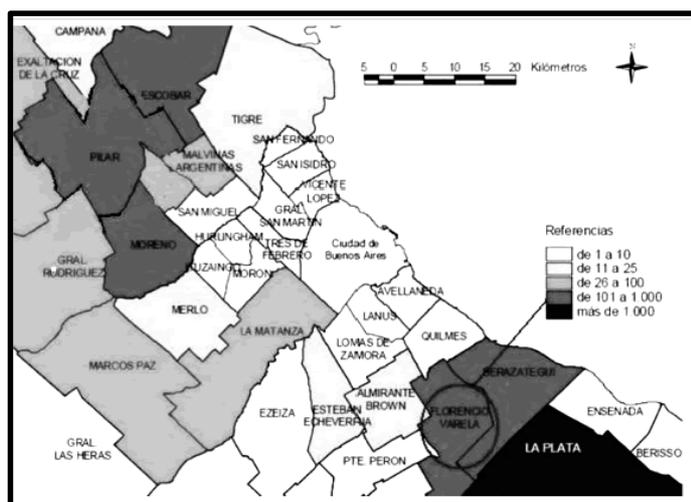
3.1.1. Localización y características productivas

En la provincia de Buenos Aires, 31.765 ha están dedicadas a la producción hortícola (CHFBSAS 2005). Por ser una región muy amplia, con características y producciones muy diversas, se divide en seis subregiones productivas: Norte de Bs. As., Cinturón hortícola del Gran Bs. As., Central Bonaerense, Sudeste de Bs. As., Cinturón hortícola de Bahía Blanca y Sur de la provincia de Bs. As (Fernández Lozano 2012).

En las subregiones mencionadas, se cultivan una amplia variedad de especies hortícolas. Sin embargo, los cultivos más perdederos, se realizan principalmente en sectores próximos a los centros de consumo y mercados de concentración; lo cual ha promovido la instalación de *Cordones Hortícolas* (también conocidos como cinturones) alrededor de un gran número de importantes ciudades. Así, la producción hortícola del área correspondiente al Centro Regional Buenos Aires Norte, se encuentra concentrada fundamentalmente en los alrededores de las ciudades de Buenos Aires "*Cinturón Hortícola Bonaerense*" y La Plata "*Cinturón Hortícola Gran La Plata*", este último inserto en el primero.

El Cinturón hortícola Bonaerense, abarca una superficie de 5.510 km². Los partidos, con actividad hortícola, involucrados en esta región son: La Plata, Florencio Varela, Berazategui, Almirante Brown, Esteban Echeverría, La Matanza, Merlo, Cañuelas, General Rodríguez, Luján, Marcos Paz, Merlo y Moreno. Esta región tiene una importante red de comunicaciones terrestres, que facilita la circulación de producción hacia los mercados concentradores (FAO 2002). Las principales vías de tránsito son: Las rutas provinciales (N°4, N° 36 y N°6) y las rutas Nacionales (N°2, N°3 y N°9). Además de las autopistas (Richieri, Bs. As-La Plata, Ezeiza-Cañuelas y Acceso Oeste) y caminos (Fernández Lozano 2012).

En la **Figura 3.1**, se presenta un mapa de los partidos mencionados, con la cantidad de quintas en los mismos. El número de quintas identificada por partidos, queda reflejado en la figura por cambios en la intensidad de coloración, a mayor intensidad mayor cantidad de quintas. Se observa entonces, que las zonas de Florencio Varela y Berazategui (coloración oscura) tienen una cantidad elevada de producciones (entre 100 y 1.000); y en la zona de La Plata (coloración más oscura) se concentran la mayor cantidad (>1.000) (Rivas 2010).



Fuente: Rivas (2010). En “Gestión ambiental para el ordenamiento territorial del partido de Florencio Varela, Área Metropolitana de Buenos Aires”.

Figura 3.1. Cantidad de quintas productivas, en los partidos que integran el cinturón verde del área metropolitana de Buenos Aires.

Si bien la horticultura de esta área se realizó desde sus comienzos principalmente a campo, como se mencionó anteriormente (punto 2.1), a partir de la década del 80 se comenzó a adoptar el uso de invernaderos. Por lo tanto, la horticultura del Gran Buenos Aires y Gran La Plata, es altamente diversificada con esquemas de producción intensiva de tres tipos: i) hortícola a campo, ii) hortícola en invernáculo y a campo, y iii) hortícola en invernáculo.

Al respecto, García (2012), realizó un análisis de la evolución de los sistemas productivos comparando tres censos hortícolas 1988, 1998 y 2005; y encontró que en el transcurso de los años hubo una disminución de la superficie implantada a campo y un aumento de la superficie bajo cubierta, con el consiguiente aumento de la productividad total.

La región de La Plata, se ha convertido en la zona más importante del cinturón hortícola bonaerense. La difusión de la horticultura en esta región se dio a mediados del siglo XX, y fue consecuencia de múltiples factores interdependientes, entre los mismos: el acceso a la tierra, migraciones hacia la zona, crecimiento rápido del conurbano bonaerense, y características distintivas de La Plata (García 2012). Los últimos datos oficiales (CHFBSAS 2005) determinaron que en la región se encontraban 1.887,9 ha a campo y 992 ha bajo cubierta. Cabe destacar que en un análisis más reciente, realizado por medio de la utilización de imágenes satelitales, se determinó para el año 2011 una superficie bajo cubierta de 2.251 ha (López Camelo 2011).

Las principales hortalizas que se producen a campo son: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris L var cicla*), zapallito (*Curcubita pepo*), remolacha (*Beta vulgaris*), choclo (*Zea mays*), alcaucil (*Cynara scolymus*), tomate (*Solanum lycopersicum L*), brócoli (*Brassica oleracea italica*), cebolla de verdeo (*Allium fistulosum*), repollo (*Brassica oleracea var viridis*), espinaca (*Spinacea oleracea*), coliflor (*Brassica oleracea*), berenjena (*Solanum melongena*), chaucha (*Phaseolus vulgaris*), pimiento (*Capsicum annum*), apio (*Apium graveolens*), y frutilla (*Fragaria*

x ananassa). Si bien la mayoría de estas especies pueden producirse en invernadero, en la región se producen principalmente con este esquema productivo, según información brindada por CHFBSAS (2005), los cultivos de: lechuga con 680 ha, tomate con 281 ha, espinaca 148 ha, pimiento 142 ha y apio con 62 ha y el resto en menor superficie.

El principal destino de la producción es el mercado interno (consumo fresco); cuya comercialización se efectúa principalmente a través de diversos mercados mayoristas ubicados en diferentes localidades del Gran Buenos Aires y del partido de La Plata, y también mediante venta directa a los grandes supermercados (Fernández Lozano 2012).

Cabe destacar que la expansión urbana y los nuevos usos de las tierras, en las zonas rurales, es muy característico en el *Cinturón verde del Gran La Plata*, como así también en otros cinturones hortícolas. En este nuevo escenario, conviven unidades residenciales junto a históricas unidades de producción. Por consiguiente, es muy importante trabajar para lograr tener una agricultura productiva y ambientalmente sostenible.

Dada la importancia hortícola que tiene la región a nivel provincial y nacional y con el objeto de consolidar el perfil productivo y el uso de la tierra con actividades de tipo agrícola, existe en La Plata una ordenanza de tipo municipal 10.703/00. En la misma, se establecen sectores pertenecientes o próximos al cinturón hortícola platense como de “protección”, que prohíben usos de la tierra, que no sean para actividades agrícolas, hortícolas y servicios asociados a ella.

3.1.2. Características ambientales

3.1.2.1. Clima. Condiciones climáticas a considerar para las producciones a campo y bajo cubierta

El clima para la producción a campo_. El clima es templado, sin estación seca, con veranos calurosos e inviernos benignos. El promedio anual de precipitaciones es de 950-960mm, con distribución estacional homogénea, exceptuando el invierno, donde las lluvias son menos frecuentes. Las máximas precipitaciones se producen en marzo (promedio mensual 109mm) y las mínimas en julio (promedio mensual 50,5mm). La humedad relativa media es de 78%, siendo el mes más húmedo junio y el más seco enero. El período libre de heladas es de 220 días (desde el 20 de octubre hasta el 10 de mayo, aproximadamente). La temperatura media anual es de 16,1°C. Enero es el mes más cálido (22,7°C) y julio el más frío (9,8°C). La heliofanía, presenta en promedio unas 6,7 hs diarias al año (Auge 2004).

Clima en el invernadero_. En el interior de los invernaderos el clima es diferente respecto al exterior, debido al confinamiento del aire. Los factores que se modifican son la temperatura, la humedad del aire y del suelo, la intensidad de la luz, y la composición atmosférica. Por consiguiente, habrá mayor temperatura tanto diurna como nocturna, y una mayor amplitud térmica, y será menor la acción del viento, la humedad relativa y el tiempo de mojado de la hoja (Castilla 2007). Además existen muchas herramientas disponibles para modificar el clima dentro de los invernaderos (como sistemas de refrigeración, calefacción, etc), aunque en muchos casos son difíciles de implementar por el costo de las mismas.

En zona del Gran La Plata, en un estudio realizado por Garbi et al. (2002), se observó un comportamiento similar en el régimen térmico interno de las temperaturas en el mes más caluroso (enero) y observaron que las mismas se encontraban entre los 33 y 42,8°C, y las medias entre 25,6 y 30°C. Una situación equivalente se registró en una evaluación realizada durante enero de 2007 por Grimaldi et al. (2007), donde encontraron que las temperaturas en el mes de enero oscilaban entre 24,9 y 33,8 °C, con valores extremos de 41,1°C. Lo mencionado, pone de manifiesto las condiciones de elevadas temperaturas que se registran dentro de los invernaderos en la zona de estudio. Provocando una alta evapotranspiración y por consiguiente un ascenso de sales. Esto adquiere especial importancia, a fin de evitar los picos de salinización característicos que se producen en la región de estudio.

3.1.2.2. Topografía e Hidrología

Topográficamente_. En el área de estudio se pueden diferenciar dos zonas: La Llanura costera y la Llanura alta. La primera ocupa una superficie muy pequeña, al norte del partido de La Plata, su relieve es plano a plano-cóncavo, el drenaje superficial es dificultoso y tiene elevada salinidad. La segunda, ocupa casi la totalidad de la región, y se destaca por el interfluvio principal que actúa como divisoria, hacia el norte Río de La Plata con pendientes y valles bien definidos y hacia el sur el Río Samborombón con geoformas de menor expresión topográfica. Esta llanura, es una zona donde predomina la recarga y los acuíferos Pampeanos y Puelches. Ambas Llanuras están ensambladas por lo que se denomina el escalón. El mismo tiene escasa extensión, pero es de suma importancia porque en el se produce la mayor descarga natural de agua dulce del Acuífero Puelche.

Hidrológicamente_. se encuentran dos vertientes, *la del Río de La Plata*, cuyos arroyos tienen un rumbo general de escurrimiento SO-NE, desaguando en la planicie costera. Esta integrada, parcialmente por cuencas de los arroyos Pereyra y San Juan y totalmente por cuencas de los arroyos Carnaval, Martín Rodríguez, Don Carlos, del gato, Pérez, Regimiento, Jardín Zoológico, Circunvalación, Maldonado, Garibaldi y El Pescado.

La vertiente del Río Samborombón con características morfológicas y de drenaje distinto al anterior. Conformadas por cabeceras de cursos con el escurrimiento hacia el río Samborombón, el más importante es el arroyo Abascay.

En lo que respecta al agua subterránea, existen dos acuíferos *el Pampeano y el Puelche*. El primero constituye una importante fuente de recarga del segundo. Este último es el más importante de la región, desde su abastecimiento para la población, como así también para el riego (Auge 2004).

3.1.2.3. Suelos

Desde el punto de vista de los materiales originales se encuentran dos áreas, *la continental*, originada a partir de sedimentos loéssicos eólicos y fluviales, distribuida en casi todo el partido; y *la planicie costera*, con sedimentos aportados por intrusiones marinas. Entre ambas áreas, existe una zona de transición cuyo material originario es de origen mixto.

Como se ha mencionado, existen dos vertientes la del Río de La Plata y la del Río Samborombón, que dieron origen a distintos suelos. En la primera, los principales factores de formación que actuaron fueron el clima y el relieve y en menor medida el material de textura fina, originando suelos zonales. En la segunda, en la cual tuvo mucha influencia en la formación el relieve (plano o cóncavo), originan suelos hidromórficos y sódicos. Las actividades agrícolas intensivas, se desarrollan en una franja más occidental donde se encuentra la zona más alta del terreno (Hurtado et al. 2006). En la **Figura 3.2**, se muestran los perfiles de los suelos que se encuentran en la región, en la misma se observa que los suelos tienen un elevado contenido de arcilla desde superficie (prevalece la illita y en menor proporción la montmorillonita) (Giménez et al. 1992; Hurtado et al. 2006).

La elevada cantidad de arcillas, le confiere una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC), y consecuentemente una buena fertilidad natural (Virmani et al. 1982; Manrique et al.1991; Otero et al.1998).

En forma natural estos suelos se agrietan en épocas de sequía y expanden con la mayor humedad (Giménez et al. 1992). Estas características se ponen de manifiesto más intensamente cuando se incorpora el riego, debido al proceso de salinización y alcalinización secundaria que se produce en grado variable (Alconada 1996; Alconada y Huergo 1998).

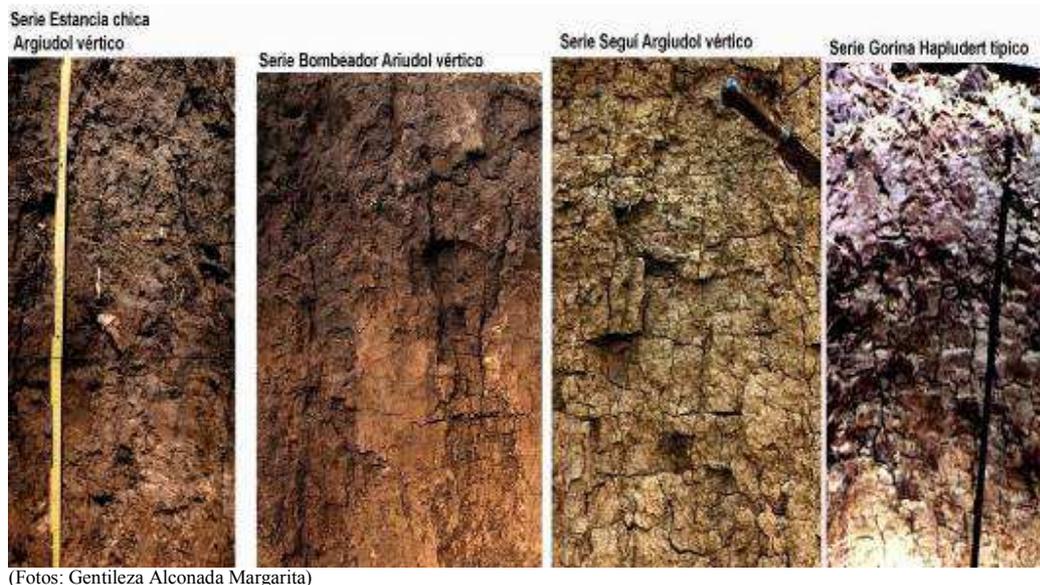


Figura 3.2. Perfiles de suelos del Gran La Plata

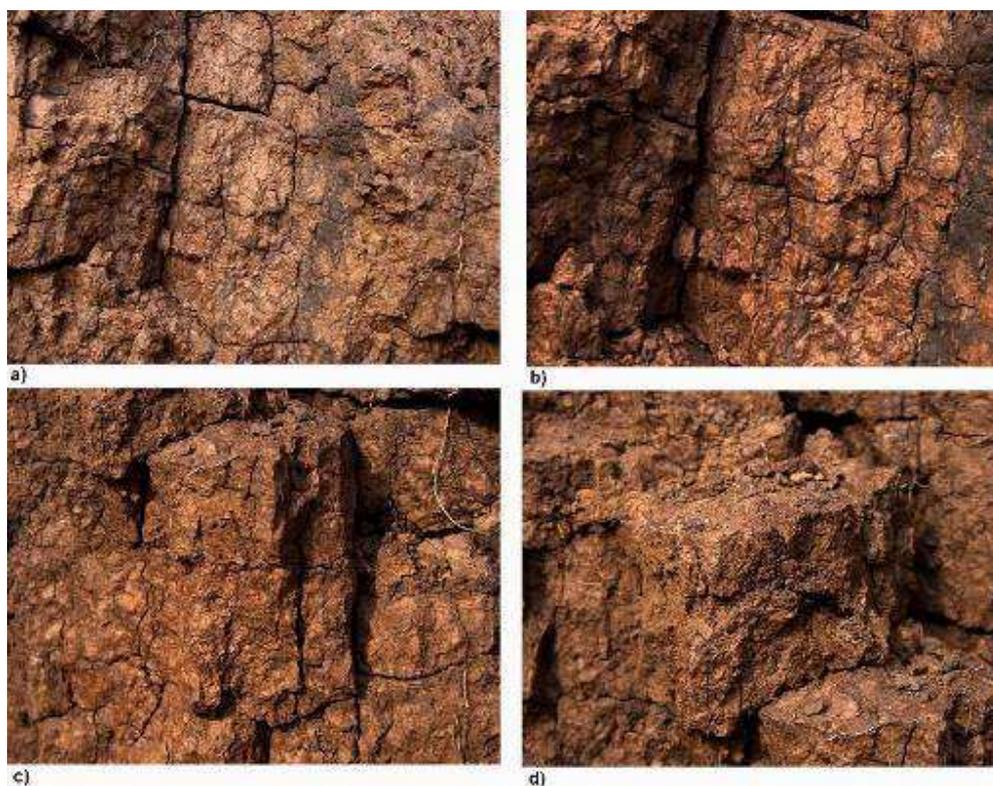
3.1.2.3.1. Características físico-químicas. Implicancias productivas

Como se ha mencionado anteriormente son suelos de rasgos vérticos, presentan en general, un horizonte A con estructura granular, bloques muy finos y resistentes, pudiendo aparecer a más profundidad una estructura prismática, de consistencia dura o

muy dura. Un horizonte B, con bloques angulares, gruesos y muy gruesos; y por debajo en forma continua (desde los 25 hasta 100cm), pueden aparecer agregados en forma cuneiformes y de slickensides. Finalmente se encuentra un horizonte C constituido por el material originario. Cabe destacar que las estructuras descritas no siempre se manifiestan en todo los suelos (Imbellone et al. 2010). En la **Figura 3.3**, se pueden observar las estructuras mencionadas, características de un suelo Hapludert típico. Las características comunes son: alto contenido de arcillas del tipo 2:1, vertigenesis (capacidad de contraerse y expandirse según variaciones en el contenido de humedad) formación de grietas y de superficies de deslizamientos (slickensides); y agregados estructurales en forma de cunas (Coulombe et al. 1996; Sotelo et al. 2008; Imbellone et al. 2010).

La textura con predominio elevado de arcilla, provoca variaciones en el contenido de humedad, que van desde el stress hídrico a exceso de agua. Así, estos suelos son muy compactos en la estación seca (muy duros) y muy plásticos en la húmeda (Imbellone et al. 2010). La presencia de capas compactadas, la baja disponibilidad de agua y la baja porosidad y permeabilidad, son las principales limitantes (FAO 2007).

En suelos con elevado contenido de arcillas expandibles, la porosidad efectiva será baja y en consecuencia el flujo del agua se verá disminuido (Castiglione y Morrás 2007), y por consiguiente la porosidad efectiva será baja en superficie, pero casi nula en horizontes subsuperficiales (Heredia 2000 en Wilson y Cerana 2004), y el valor de conductividad hidráulica cercano a cero (Fontanini et al. 2003).



(Fotos: Gentileza Alconada Margarita)

a) Prismas, chorreaduras de MO; b) Ampliación de la figura a; c) Bloque cuneiforme; d) Ampliación de la figura c.

Figura 3.3. Estructura de un suelo Hapludert típico.

Agrietamiento y su efecto sobre las propiedades del suelo_. El agrietamiento, esta relacionado con el tipo y la cantidad de arcilla, se presenta generalmente suelos con elevado contenido de arcillas es mayor al 30%, en todos los horizontes hasta una profundidad de 50 cm, siendo del tipo esmectitas principalmente (2:1 arcillas expandibles) (Imbellone et al. 2010). Cuando cambia el volumen, de acuerdo a la variación en el contenido de humedad, se forman grietas que pueden llegar a ser de más de 1 cm de ancho y de 50 cm de largo (Kishné et al. 2009). Este comportamiento altera las propiedades físico-químicas, modificando la infiltración, la aireación y el movimiento en profundidad de nutrientes y el desarrollo de las raíces (Gray y Allbrook 2002 citado en Castiglioni et al. 2005; Kishné et al. 2009).

El secado del suelo, se produce en dos etapas, la primera donde la pérdida de agua, provoca una pérdida de volumen aparente del suelo y la segunda donde no se modifica el volumen total, pero se modifican la porosidad interna de los agregados. Así aparecen las grietas, que se van haciendo mas amplias y profundas a medida que se reduce el contenido hídrico (Castiglione et al. 2004). Por lo tanto, se produce ruptura de raicillas, compactación y aumento de la densidad aparente del suelo (Duchaufour 1984). El valor de conductividad hidráulica en las grietas, será elevado y similar a los de los suelos arenosos, debido al flujo by pass (movimiento vertical rápido) (Fontanini et al. 2003). Asimismo, en las grietas se aumenta la evaporación, siendo un mecanismo de pérdida de agua. Se considera entonces que la zona de las grietas habrá mayor movimiento de agua (Hatano et al. 1988).

Kishné et al. (2009; 2010), establecieron que el agrietamiento, no solo es funcional al contenido de humedad del suelo y a los ciclos de humedecimiento, si no que también al antecedente de humedad en el mismo. Además, esta influenciado por la composición del complejo de intercambio, el clima y la posición topográfica (Imbellone et al. 2010). Los regímenes hídricos de estos suelos son difíciles de caracterizar, y los mismos desarrollan su propio clima, ya que son mas secos por la fuerte evaporación a través de sus grietas y más húmedos debido a la baja infiltración por el sellado de las mismas (Imbellone et al. 2010). Por lo tanto, este tipo de suelo la variabilidad temporal se manifiesta con mayor intensidad (Wilson y Cerana 2004).

En la **Figura 3.4**, se muestra el agrietamiento visualizado en la zona de estudio (suelo Hapludert típico). En la misma se observa en A, la grieta a campo, en B la grieta en el perfil del suelo y en C las chorreaduras de materia orgánica que se produce típicamente en estos suelos, por el movimiento vertical de la misma a través de las grietas.



(Fotos: Gentileza Alconada Margarita Ay B; y Hurtado Martín C)
 A- Grieta a campo; B-Grieta en el perfil del suelo; C- Chorreadura de materia orgánica.

Figura 3.4. Agrietamiento en un suelo Hapludert típico de la zona del Gran La Plata.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

3.2.1. Descripción del esquema productivo.

El estudio se realizó en la zona hortiflorícola del Gran La Plata. En un quinta productiva que fue elegida por su representatividad areal de los sistemas productivos de la región. Por el tipo y la forma de producción se puede caracterizar como “*familiar capitalizado o Pymes*” (INTA 2011a; 2011b), debido a que cuenta con recursos medios y tiene como principal objetivo de la producción el retorno económico. La mano de obra es aportada por el grupo familiar. No obstante, a pesar de aprovechar plenamente la capacidad de trabajo de la familia, deben contratar jornaleros para realizar algunas tareas. El

establecimiento se caracteriza por tener un esquema de producción intensivo y diversificado en cuanto a su forma de producción y a la cantidad de especies que cultiva. Dentro de las mismas se puede mencionar tomate, pimiento y lechuga como principales, ya que ocupan la mayor superficie y zapallito de tronco y chaucha como secundarias y complementarias de las anteriores. La producción es comercializada en el mercado central.

El sistema productivo implementado, es únicamente bajo coberturas plásticas, en invernaderos “*tipo capilla*”, característicos de la zona. Toda la superficie productiva de esta quinta está en producción, no quedando superficie libre para aumentar la producción o bien para cambiar de sitio el invernáculo y dejar al descubierto el suelo y darle un tiempo para el “*descanso*”.

Como se ha mencionado anteriormente, los suelos de esta quinta poseen un elevado contenido de arcillas, por lo que el drenaje es deficiente provocando en muchas ocasiones anegamiento. Tienen además problemas generados por las prácticas productivas implementadas, como el uso de enmiendas orgánicas sin un control adecuado, exceso de fertilización y riego con aguas bicarbonatadas sódicas. Las consecuencias a estas problemáticas se intensifican por la cantidad de años bajo cubierta plástica que lleva en producción. Por consiguiente, los suelos presentan un estado de degradación por salinización y alcalinización avanzado teniendo además consecuencias importantes en la producción.

El ensayo se inició en el año 2009 y tuvo una duración de 3 años (hasta agosto 2011), en donde cada año se evaluó el ciclo del pimiento (6 meses), desde su implantación hasta finalización de la cosecha. Cabe destacar, que no se hicieron modificaciones, además de las generadas por la instalación del ensayo, en el esquema productivo. Por lo tanto, todas las prácticas descritas a continuación son las realizadas comúnmente por los productores de la región de estudio y son las que comúnmente realizó y realiza el productor en donde se instaló el ensayo. Así, el ensayo quedó enmarcado en una situación real de producción.

Características del sistema productivo y del cultivo

Sistema de producción_. Bajo cubierta plástica, invernadero de madera tipo capilla, con ventanas laterales. Superficie de 460m²

Preparación del terreno_.

- Cincelado o subsolado: En general se realiza con el objetivo de romper la capa superior o bien de desarmar los lomos del cultivo anterior.
- Enseyado: Se aplicó yeso en uno de los tratamientos del ensayo (T3). La descripción se hará en el punto 3.2.2.
- Rotativa: Con el objeto de mezclar el yeso, como así también para todo el sitio, adecuar el tamaño del terrón, preparar la cama de plantación para recibir el plantín.
- Construcción de lomos.
- Desinfección del suelo: Bromuro de metilo (50gr.m²).

Cultivo_. Pimiento (*Capsicum annuum*)

Variedades: Año 2009 Platero

Años 2010-2011 Almuden

Ambas variedades son del tipo *lamuyo*. En general son plantas vigorosas. Con frutos de tamaño medio a grande. Que van de un color verde a rojo brillante. Con resistencia a algunas virosis transmitidas por trips.

Marco de plantación_.

- Distancia entre plantas: 0,45m
- Distancia entre líneas: 1,20m
- Densidad: 20.000 plantas.ha⁻¹

Sistema de riego_. Riego por goteo (20cm entre goteros), dos mangueras de riego por lomo.

Fertilización_. Se aplicó la fertilización que realizaba comúnmente el productor, sin realizar modificaciones de acuerdo a los análisis de suelo y la demanda del cultivo.

En la **Tabla 3.1**, se presentan las características de los fertilizantes utilizados, y las dosis que se utilizó en cada ciclo productivo. Estas variables son importantes de considerar, debido a que las mismas tienen influencia directa en el suelo y en el desarrollo del cultivo.

Fertilizante	Riqueza	pH	CE(dS.m ⁻¹)	Dosis
Nitrato de Calcio	15,5%N; 28%CaO	5,87	1,18	360 kg.ha ⁻¹
Nitrato de potasio	13%N; 44%K ₂ O	7,02	1,36	540 kg.ha ⁻¹
Ac. fosfórico	52% P ₂ O ₅	<1	1,50	240 l.ha ⁻¹

pH en pasta; CE del extracto de saturación

Tabla 3.1. Dosis y características de los fertilizantes utilizados en la solución del fertirriego.

3.2.2. Tratamientos implementados

T1=Drenes PVC con 10cm de diámetro (dren 10).

T2=Drenes PVC con 15cm de diámetro (dren 15).

T3=Aplicación de yeso en dosis ajustada a la cantidad de Na⁺ intercambiable a reemplazar.

T4=Testigo.

Cada tratamiento ocupó una parcela de 110m². El diseño aplicado fue completamente al azar, con 6 repeticiones por tratamiento.

Drenes (T1 y T2)

Descripción de los drenes_. Se utilizaron tubos de PVC, recomendados para drenajes subterráneos, denominados “*drenoflex*”. Los mismos son corrugados y perforados, con

una amplia área de perforación por metro y con paredes internas lisas. Estas características le permiten que sean adecuados para un drenaje correcto. Además son realizados por un material, que los hace que sean muy livianos, flexibles y fáciles de transportar. A su vez poseen resistencia química.

Tal como se ha mencionado en el punto 1.5, para poder comparar el diámetro de los drenes, se utilizaron tubos de diámetro de 10 y 15cm según tratamiento (T1 y T2 respectivamente), con perforaciones de 3-4mm en toda la superficie, la diferencia entre drenes se puede visualizar en la **Figura 3.5**. Los drenes se instalaron con un material filtrante, piedra granítica de 1-2cm de diámetro, que los cubrió en todo su perímetro con un espesor de 5cm con el fin de garantizar su funcionamiento evitando que se taponen.



Figura 3.5. Comparación diámetro de tubos de PVC utilizados para el drenaje.

Descripción de la instalación del sistema de drenaje subsuperficial. En la **Figura 3.6**, se muestra cada paso implementado.

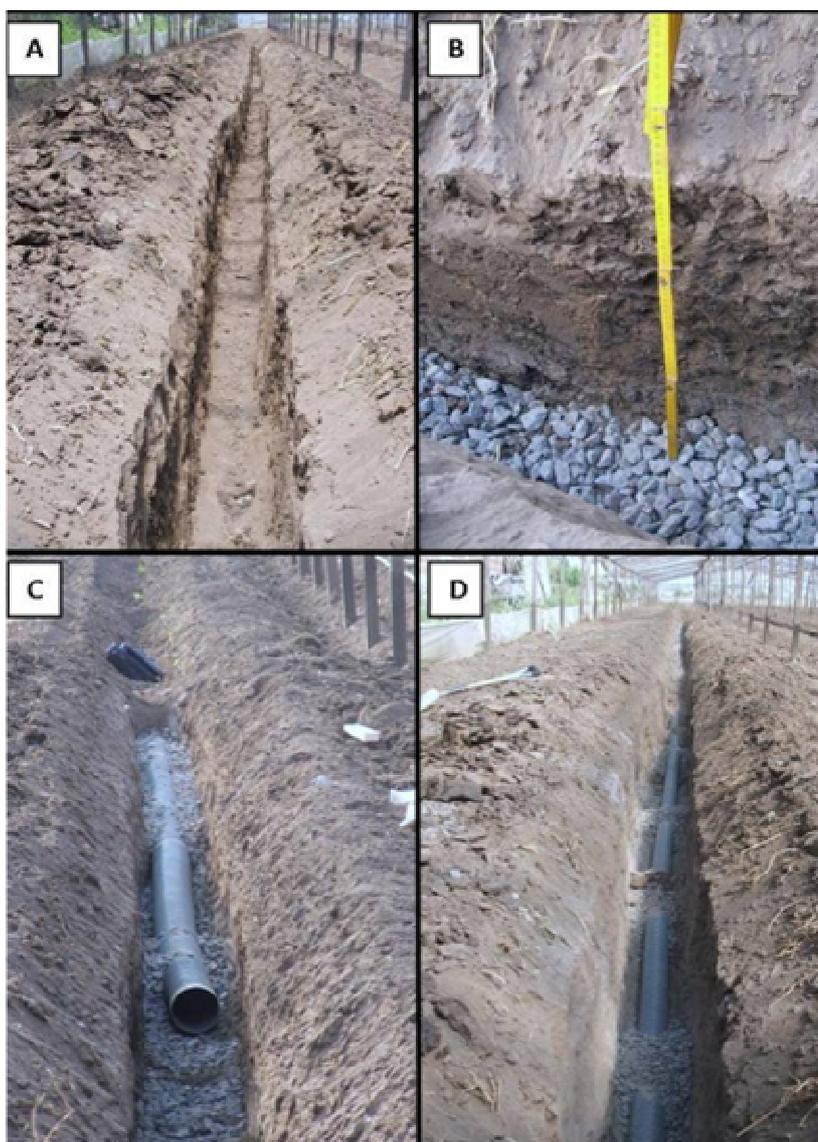
1. Se realizó una zanja de 0,4m de ancho, con una profundidad de 0,50m (pendiente arriba) y 0,59m (pendiente abajo), por lo que la pendiente resulto de 0,3%, debido a que la longitud de los drenes fue de 30m. Se le dio este ancho a la zanja, con el objeto de tener la posibilidad de cubrir alrededor de la tubería con piedra granítica. Se eligió esta profundidad porque con la instalación del dren se busca reemplazar el horizonte de baja permeabilidad (Bt), y permitir la salida de las sales del perfil del suelo.

2. La tierra de la zanja se separó en dos, por un lado se puso la tierra correspondiente a los horizontes superficiales y por el otro la correspondiente al horizonte B. Esta separación entre los horizontes del suelo se realizo, ya que una vez instalada la tubería se utilizó para tapar la tierra superficial, y la del horizonte B se descartó (**Figura 3.6 A**).

3_. Una vez realizada la zanja, con su correspondiente pendiente, se procedió a poner una capa de piedra granítica (**Figura 3.6 B**), luego se instaló la tubería, se cubrió la misma nuevamente con piedra granítica y finalmente se tapó con tierra del horizonte superficial (**Figura 3.6 C y D**).

4_. Se realizó un pozo debajo del dren, pendiente abajo, con el objeto de recolecte el agua que drenaba de las tuberías.

Las tuberías de drenaje (tratamiento 1 respecto al tratamiento 2) fueron separadas a una distancia de 5m entre sí. Se eligió este distanciamiento por el ancho del invernáculo (10m). No obstante, hay que considerar que no hay antecedentes de distancia óptima de separación de drenes para utilizar con el objetivo de este ensayo.



A-Apertura zanja, separación de la tierra extraída de los distintos horizontes del suelo; B-Piedra granita fondo de la zanja; C- Instalación tubo de PVC; D-Tubería completa y tapado con la piedra granítica.

Figura 3.6. Instalación del sistema de drenaje, sitio correspondiente a los T1 y T2

Enmienda inorgánica (T3)

Aplicación de yeso. La dosis se ajustó en base a la cantidad de Na^+ intercambiable a reemplazar, de acuerdo a las características químicas del suelo. Se aplicó antes de la preparación del suelo, luego se pasó una rotativa para su incorporación.

Es una práctica común que los productores de la región de estudio, incorporen yeso al suelo, todos los años o año por medio. Por lo tanto, se aplicó en el ciclo del año 2009 y el ciclo del año 2011.

1er ciclo. Se incorporó luego del primer muestreo (F0), enero 2009. Se estimó la dosis para reemplazar 3 cmolc.kg^{-1} . Dosis final $6,7 \text{ t.ha}^{-1}$

3er ciclo. Se incorporó al inicio del ciclo correspondiente al año 2011, luego del muestreo (F8). Se estimó la dosis para reemplazar 3 cmolc.kg^{-1} . Dosis final $6,7 \text{ t.ha}^{-1}$

3.3. ESTUDIOS REALIZADOS

3.3.1 Suelo

3.3.1.1 Muestreo del suelo

Calicatas Iniciales-Descripción del suelo. Se realizaron dos calicatas una adentro del invernáculo y otra afuera del mismo, para hacer una descripción del sitio y comparar el efecto de las prácticas productivas en el suelo.

Muestreo del ensayo-Formas de Muestreo. Se realizaron dos formas de muestreos, uno compuesto y otro completo.

- **Compuesto**, en cada tratamiento y en el testigo, se tomó una muestra que consto de 8 submuestras.
- **Completo**, en cada tratamiento y en el testigo, se tomó una muestra por repetición (6 repeticiones en cada sitio) que consto de 4 submuestras.

Ambos muestreos se realizaron a dos profundidades, 0-20cm (sector con raíces) y 20-40cm (parte superior del horizonte Bt). Cabe destacar, que todas las muestras fueron tomadas cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo y por encima de la misma.

Fechas de muestreo. En la **Tabla 3.2** se presentan a modo de resumen las fechas de muestreo, por año y el estado en que se encontraba el suelo y/o el cultivo, y el tipo de muestreo realizado en cada fecha.

Identificación	Fecha	Características suelo/cultivo	Muestreo
F0	Enero 2009	Previo instalación tratamientos	Compuesto
F1	Marzo 2009	Cultivo crecimiento lento, estado vegetativo e inicio reproductivo. Baja demanda nutritiva	Completo
F2	Junio 2009	Cultivo crecimiento rápido, estado reproductivo. Alta demanda nutritiva	Completo
F3	Agosto 2009	Fin de ciclo, suelo sin cultivo.	Completo
F4	Enero 2010	Previo plantación	Compuesto
F5	Marzo 2010	Cultivo crecimiento lento, estado vegetativo e inicio reproductivo. Baja demanda nutritiva.	Completo
F6	Junio 2010	Cultivo crecimiento rápido, estado reproductivo. Alta demanda nutritiva.	Completo
F7	Agosto 2010	Fin de ciclo, suelo sin cultivo.	Compuesto
F8	Enero 2011	Previo plantación e incorporación yeso	Compuesto
F9	Marzo 2011	Cultivo crecimiento lento, estado vegetativo e inicio reproductivo. Baja demanda nutritiva.	Completo
F10	Junio 2011	Cultivo crecimiento rápido, estado reproductivo. Alta demanda nutritiva	Completo
F11	Agosto 2011	Fin del ensayo	Compuesto

Tabla 3.2. Fechas de muestreo, estado del cultivo y tipo de muestreo.

3.3.1.2. Determinaciones analíticas de las variables edáficas

-Sobre las muestras iniciales (antes de implantación de cultivo F0, F4 y F8) y sobre las finales (fin del ciclo del cultivo F3, F7 y F11). Muestras compuestas.

Químicas según procedimientos estándares de evaluación (Page et al. 1982):

- Capacidad de Intercambio catiónico, CIC por extracción con acetato de amonio 1N pH 7
- Cationes intercambiables, por extracción con acetato de amonio 1N pH 7, y posterior evaluación con la metodología indicada para cada catión. Fotometría en llama para sodio y potasio y colorimetría para calcio y magnesio.
- Fósforo asimilable por Bray Kurtz 1.
- N total por Kjendahl.
- Materia orgánica por Walkley y Black.

Solo se hicieron estas determinaciones en muestras iniciales y finales para hacer un seguimiento general del sitio y ver el efecto de los tratamientos.

-Sobre todas las muestras de suelo (muestras compuesta y completas)

Químicas según procedimientos estándares de evaluación (Page et al. 1982):

- pH en pasta.
- Conductividad eléctrica (CE) en el extracto de suelo a saturación.
- Relación de adsorción sodio (RAS) en el extracto de suelo a saturación.

-Sobre las muestras de F1

Físicas procedimientos de evaluación.

Se destaca que si bien el método más adecuado para evaluar la estabilidad estructural, podría haber sido el método de Hénin et al. (1972) que se correlaciona con la conductividad hidráulica Hénin et al. (1972), actualmente no está permitido el uso de benceno por lo cual se decidió utilizar la técnica que a continuación se indica.

- Inestabilidad estructural, agitación en agua agregados 1-2mm por Douglas y Goss (1982).
- Conductividad Hidráulica a saturación Hénin et al. (1972).

Estas determinaciones se efectuaron sobre las muestras correspondientes a F1, debido a que en esta fecha se observó el mayor contraste salinidad-sodicidad entre sitios. Para establecer las relaciones entre dichas salinidades-alcalinidades, y las propiedades físicas del presente suelo, y consecuentemente, si es posible que disminuciones marcadas en la salinidad conduzcan a efectos desfavorables en la física del suelo.

En base a los resultados obtenidos en la estabilidad estructural, se decidió sólo para conductividad hidráulica evaluar el comportamiento al final del ensayo (F11).

- Sobre las calicatas

Químicas según procedimientos estándares de evaluación, se determinaron las variables aplicadas en los muestreos completos y compuestos. Además se determinó textura por densimetría, método de Bouyoucos.

Los perfiles se analizaron siguiendo los criterios de descripción de las Normas de Reconocimiento de Suelos (Etcheverhe 1976), y por INTA (2000). Las propiedades analíticas se evaluaron por procedimientos estándares (Page et al. 1982) y SAMLA (2006). Con la caracterización morfológica y analítica se clasifica el suelo por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2006).

3.3.2. Agua

Calidad del agua de riego. Análisis químico al agua que se utilizó como riego siguiendo procedimientos estándares de evaluación (APHA, AWWA, WPCF 1989). Su aptitud para riego fue evaluada considerando los criterios de Ayres y Wescott (1987), y Pla Sentís (1988).

Agua de drenaje. No fue posible recolectar agua a la salida de los drenes. En el presente proyecto se planteó trabajar en condiciones reales, conforme a las técnicas tradicionales de manejo de suelo, agua y cultivo. El sistema de riego que se utiliza, como se comentó es por goteo, aproximadamente el volumen de agua aplicada por riego es 100-200cc por día cada gotero, cantidad que no genera a la salida de los tubos de drenaje un volumen de agua suficiente para evaluaciones.

3.3.3. Cultivo

Evaluación fenológica

*Variables determinadas*_. Altura de planta, calibre del tallo, área foliar y número de frutos por planta.

*Momento de análisis*_. Se realizó en marzo (cultivo crecimiento vegetativo principalmente, e inicio de floración y desarrollo de frutos) y junio (cultivo principalmente con crecimiento reproductivo) de cada año de evaluación.

*Metodología del análisis*_. Se tomaron 6 plantas por repetición de cada tratamiento y del testigo. En todas las plantas se midió:

-*La altura de las plantas*, se midió con un centímetro desde la base del tallo (contacto con el suelo) hasta el ápice del mismo.

-*Calibre de tallo*, se midió utilizando un calibre, a los 10cm por debajo del ápice del tallo.

-*Área foliar*, se midió utilizando un centímetro, el largo y el ancho de la primera hoja totalmente expandida más próxima al ápice del tallo.

-*El número de frutos por planta*, se cuantificó la cantidad de frutos presente en cada planta, se consideraron todos sin diferenciar tamaños. Fue determinado en las primeras evaluaciones, correspondientes al mes de marzo, debido a que en esta evaluación la cosecha aun no había comenzado.

Evaluación del peso fresco y seco

Al finalizar el periodo productivo, se tomó una planta por repetición, por tratamiento, se determinó por pesada directa el peso fresco y luego se la llevó a una estufa a 60°C hasta peso constante y se determinó el peso seco de la planta.

Evaluación de la productividad

*Rendimiento*_. Se midió rendimiento total y comercial de todas las repeticiones de cada tratamiento.

*Evaluación de calidad del fruto*_. Se evaluaron 6 frutos de cada repetición, para los tratamientos y el testigo. Se midió el largo, diámetro (promedio de las dos caras que consta el fruto) y peso.

Análisis económico

En base a los tratamientos aplicados y a los rendimientos obtenidos se evaluó los costos de la aplicación de los tratamientos con drenes.

3.4. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

*Diseño estadístico*_. El diseño experimental es un arreglo factorial, completamente al azar con 6 repeticiones, en donde los factores son dos, los años y el tipo de manejo

realizado al suelo (drenes, yeso y testigo). Se analizaron los resultados por ANVA según diseño experimental. Prueba de F test unilateral (P 0,05 y 0,01), comparación de tratamientos por test de Duncan, y correlaciones lineales entre variables.

Como no se observó interacción significativa (P 0,05 y 0,01) entre los factores se aplicó un diseño completamente al azar, para comparar los resultados obtenidos en las distintas fechas de evaluación y el efecto de los tratamientos. Asimismo, como en los muestreos compuestos no se cuenta con repeticiones, los resultados no se compararon estadísticamente. Sin embargo, al inicio y al final del ensayo se incluyó en el análisis por fecha de muestreo para usar como parámetro comparativo en el efecto de la evolución del tratamiento en todo el periodo ensayado (enero 2009-agosto 2011). Se realizaron, correlaciones (coeficiente de Pearson) entre variables edáficas, y entre estas y las variables fenológicas del cultivo y calidad de fruto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 4. SUELO Y AGUA

4.1. Caracterización del sitio de estudio

Se estudiaron dos perfiles edáficos, a campo (vecino al invernáculo) y adentro del invernáculo, tal como se muestra en la **Figura 4.1**.



A-Calicata a campo (vecina al invernáculo); B- Calicata dentro del invernáculo.

Figura 4.1. Calicatas realizadas en el sitio de estudio.

Perfil 1-a campo (vecina al invernáculo)- Datos morfológicos y analíticos

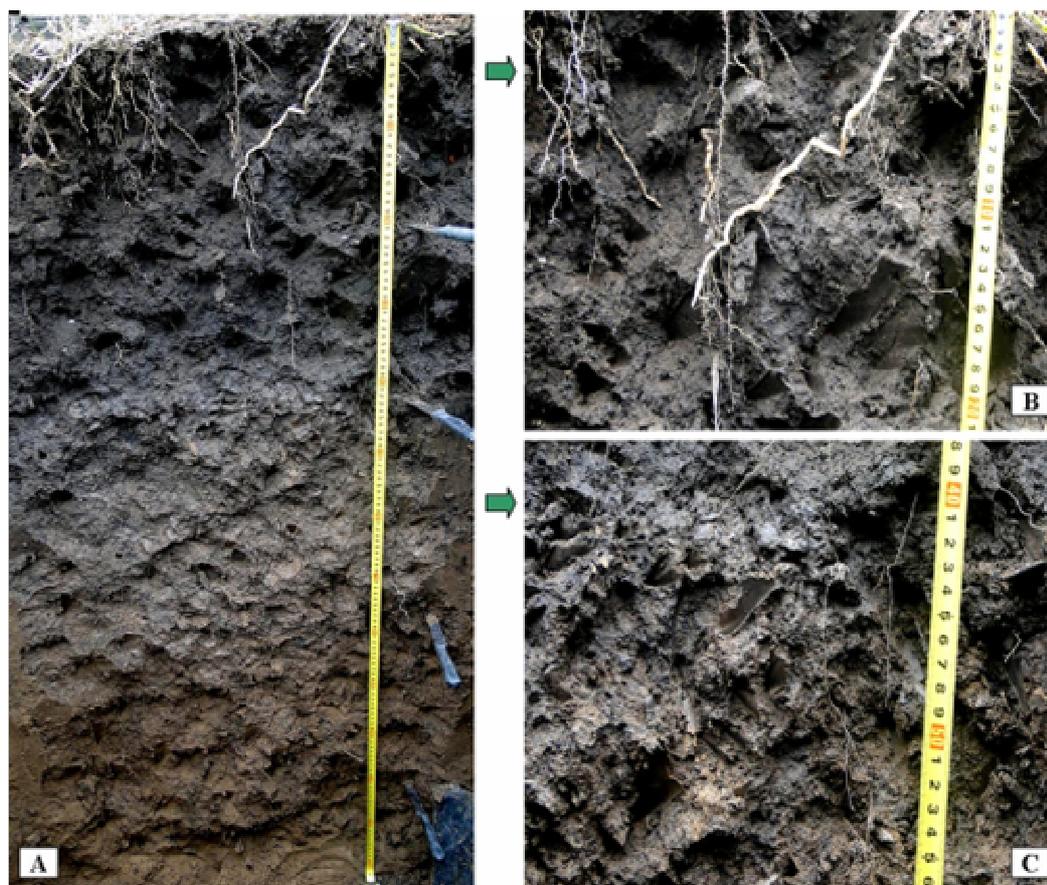
- | | |
|-------|---|
| A | 0-20cm; pardo grisáceo oscuro a pardo grisáceo (10YR 4,5/2) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura bloques medios-fuertes que rompen en granular; friable, plástico y adhesivo; raíces abundantes comunes hasta los 10cm, escasas a partir de esa profundidad; límite claro y plano. |
| AB | 20-42cm; pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura masiva que rompe en bloques medios a fuertes; friable y plástico, ligeramente adhesivo; barnices escasos; raíces escasas; moteados comunes; límite abrupto y plano. |
| Btss1 | 42-77cm; pardo fuerte (7,5YR 4/6) en seco y pardo oscuro a pardo (7,5YR 4/3) y en húmedo; arcilloso, estructura en prisma regulares; muy duro, muy plástico, muy adhesivo; cutanes arcillo-húmicos, abundantes; raíces escasas; límite claro y plano. |
| Btss2 | 77-113cm; pardo (7,5YR 5/4) en seco y pardo fuerte (7,5YR 4/6) en húmedo; arcilloso limosa; estructura en prismas regulares, finos, que rompen a bloques angulares cuneiformes, medios, fuertes; muy firme, muy plástico, muy adhesivo; superficies de deslizamiento (slickensides) abundantes; moteados comunes; límite gradual y plano. |

BC1 113-140+cm; pardo claro a gris (7,5YR 6/3) en seco y pardo (7,5YR 5/6) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura masiva, con sectores compactos; firme, friable; límite gradual y plano.

Horizonte		A	AB	Btss1	Btss2	BC
Profundidad (cm)		0-20	20-42	42-77	77-113	113-140+
pH (pasta)		6,7	6,8	6,8	6,9	7,0
CE (dS.m ⁻¹)		0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
Composición Granulométrica (%)	Arcilla	31,1	31,1	51,1	43,1	37,1
	Limo	52,0	52,0	36,0	42,0	50,0
	Arena	16,9	16,9	12,9	14,9	12,9
Carbono orgánico (%)		1,7	1,6	0,3	0,2	0,1
Materia orgánica (%)		3,0	2,8	0,6	0,4	0,2
N total (%)		0,2	0,1	-	-	-
Relación C/N		10,9	12,5	-	-	-
Fósforo asimilable (ppm)		18,6	12,0	5,0	-	-
Capacidad Int.Cat (cmolc.kg ⁻¹)		22,9	20,9	32,3	34,0	24,2
Bases de intercambio (cmolc.kg ⁻¹)	Na ⁺	0,3	0,4	1,1	1,6	1,6
	K ⁺	1,2	0,6	1,2	1,4	1,3
	Ca ²⁺	19,1	17,3	23,5	20,6	16,7
	Mg ²⁺	1,0	2,5	4,9	4,9	3,4
%Na ⁺ intercambiable		1,3	1,9	3,4	4,7	6,6
Saturación de bases		94,3	99,5	95,1	83,8	95,0
RAS		1,8	1,1	3,8	2,3	3,0
Cationes Solubles (meq.l ⁻¹)	Na ⁺	1,6	1,1	3,3	2,2	2,6
	Ca ²⁺	1,2	1,2	0,5	0,4	0,5
	Mg ²⁺	0,3	0,8	1,0	1,3	0,9

Tabla 4.1. Datos analíticos del suelo, calicata 1 (vecina al invernáculo).

En la **Figura 4.2** se presenta el perfil descrito anteriormente, hasta 140cm de profundidad, y a la derecha, detalle del horizonte A (0-20cm) con abundante presencia de raíces y del horizonte Btss1 mas compactado.



A-Perfil completo hasta 140cm; B-Horizonte A; C- Horizonte Btss1

Figura 4.2. Perfil calcata a campo (vecina al invernáculo).

En la **Figura 4.3**, se presenta en detalle la estructura de los horizontes descritos anteriormente, en la misma se puede visualizar en los horizontes superficiales una estructura en bloques que rompe a granular y en los subsuperficiales la presencia de una estructura más compacta en forma de prismas que rompen en bloques.



Figura 4.3. Detalle de las estructura de los horizontes de la calcata a campo

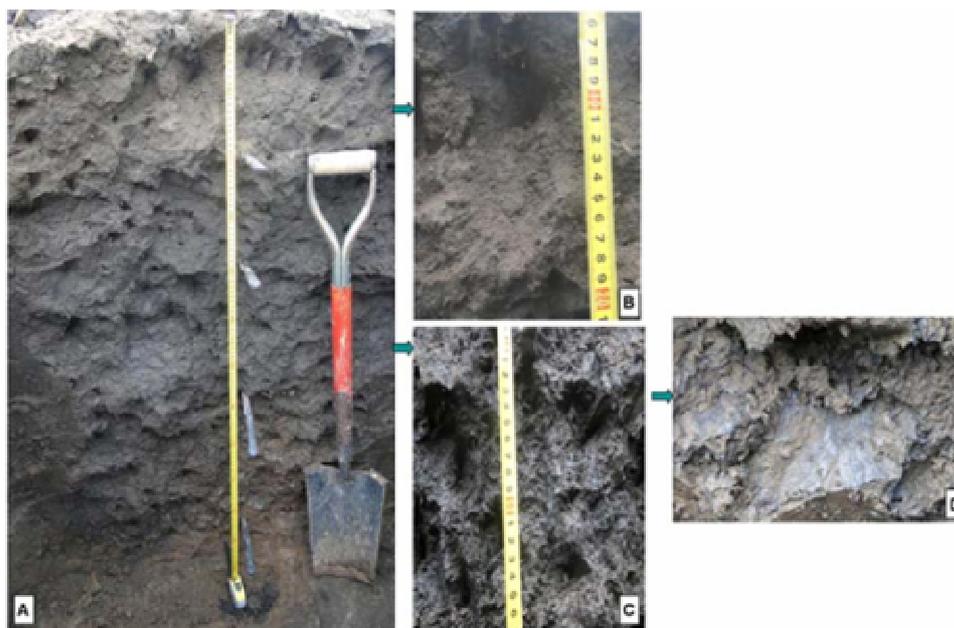
Perfil 2-adentro del invernáculo-
Datos morfológicos y analíticos

A	0-20cm; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 3/2,5) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura masiva que rompe en bloques finos-medios; friable, plástico y adhesivo; raíces escasas a partir de esa profundidad; moteados de manganeso escasos; límite abrupto y plano.
AB	20-48cm; pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura en bloques medios a fuertes; friable y plástico, adhesivo; barnices escasos; raíces ausentes; moteados comunes de manganeso; límite claro y plano.
Btss1	48-68cm; pardo oscuro a pardo (7,5YR 4/3) en seco y pardo muy oscuro (7,5YR 3/4) en húmedo; arcilloso, estructura en prismas regulares, finos-medios, que rompen a bloques angulares cuneiformes y bloques medios; firme; muy plástico, muy adhesivo; raíces ausentes; superficies de deslizamiento (slickensides); abundantes moteados comunes; límite claro y plano.
Btss2	68-110cm; pardo (7,5YR 4/4) en seco y pardo oscuro (7,5YR 3/3) y en húmedo arcilloso; estructura en prismas regulares, finos, que rompen a bloques angulares cuneiformes, medios; muy firme, muy plástico, muy adhesivo; superficies de deslizamiento (slickensides) abundantes; barnices abundantes; moteados comunes; límite gradual y plano.
BC1	110+cm; pardo claro a gris (7,5YR 6/3) en seco y pardo (7,5YR 5/6) en húmedo; franco limo arcillosa; estructura masiva, con sectores compactos; firme, friable; límite gradual y plano.

Horizonte		A	AB	Btss1	Btss2	BC
Profundidad (cm)		0-20	20-48	48-68	68-110	110+
pH (pasta)		8,3	7,8	7,5	6,8	6,7
CE (dS.m ⁻¹)		4,5	2,3	0,5	0,5	0,5
Composición Granulométrica (%)	Arcilla	29,1	33,1	47,1	49,1	47,1
	Limo	54,0	50,0	38,0	38,0	42,0
	Arena	29,1	33,1	47,1	49,1	47,1
Carbono orgánico (%)		1,2	1,0	0,6	0,5	0,2
Materia orgánica (%)		2,1	1,7	1,1	0,9	0,4
N total (%)		0,12	0,10	-	-	-
Relación C/N		10,2	9,9	-	-	-
Fósforo asimilable (ppm)		131,0	156,0	10,5	-	-
Capacidad Int.Cat (cmolc.kg ⁻¹)		20,6	19,9	26,1	29,7	28,7
Bases de intercambio (cmolc.kg ⁻¹)	Na ⁺	4,8	4,1	3,9	2,9	2,2
	K ⁺	0,7	0,4	0,8	1,0	1,3
	Ca ²⁺	21,1	17,2	18,1	19,1	17,2
	Mg ²⁺	2,5	1,0	4,9	3,9	7,8
%Na ⁺ intercambiable		23,3	20,6	14,9	9,8	7,7
Saturación de bases						
RAS		20,3	18,7	3,8	3,9	2,9
Cationes Solubles (meq.l ⁻¹)	Na ⁺	47,3	27,4	4,7	3,7	2,9
	Ca ²⁺	8,3	3,4	1,2	0,6	0,7
	Mg ²⁺	2,6	0,9	1,8	1,2	1,3

Tabla 4.2. Datos analíticos del suelo, calicata 2 (adentro del invernáculo).

En la **Figura 4.4** se presenta el perfil descrito anteriormente hasta 110cm de profundidad, y a la derecha, detalle del horizonte A (0-20cm) y del horizonte Btss1 más compactado.



A-Perfil completo hasta 110cm; B- Ampliación horizonte A; C-Ampliación horizonte Btss1; D-Slickside

Figura 4.4. Perfil calicata adentro del invernáculo.

En la **Figura 4.5**, se presenta en detalle la estructura de los horizontes descritos anteriormente, en la misma se puede visualizar en los horizontes superficiales una estructura masiva que rompe a granular y en los subsuperficiales la presencia de una estructura más compacta en forma de prismas que rompen en bloques cuneiformes.



Figura 4.5. Detalle de la estructura de los horizontes de la calicata adentro del invernáculo.

Los perfiles descritos son coincidentes con la Serie Gorina, Hapludert típico, familia fina montmorillonítica, térmica, aunque por la textura que presentan se puede decir que se encuentran en límite entre esta serie y la Serie Estancia Chica, Argiudol vértico, ambas descritas por Hurtado et al. (2006).

Descripción morfológica general. Son suelos de fuerte desarrollo, bien a moderadamente bien drenados, de permeabilidad lenta o muy lenta. El horizonte superficial es generalmente de textura franco arcillo limosa, con tenores de arcilla elevados entre 20 a 30cm de espesor. Por debajo suele aparecer un horizonte de transición con algunos sectores levemente decolorados designado como AB. Le subyace un horizonte Bt, casi siempre dividido en tres subhorizontes, de textura arcillosa. La transición hacia el material originario es gradual, existiendo generalmente dos horizontes BC. Se observan superficies de deslizamiento grandes que delimitan bloques angulares cuneiformes. En épocas de déficit hídrico presentan grietas (Hurtado et al. 2006).

Se tomaron muestras de suelo sin disturbar de los horizontes A y Bt de las calicatas realizadas. Estas se analizaron en laboratorio y se compararon entre sí y con otros materiales degradados en forma natural en la región (horizonte E de un Argialbol típico, ubicado en ambientes bajos de la ciudad de La Plata, Serie Los Hornos). Se efectuaron observaciones morfológicas, color, estructura, porosidad, consistencia, y textura al tacto. Se observó, en las muestras provenientes de la calicata realizada dentro del invernadero, una marcada degradación principalmente en la base del horizonte A. Esto se puede ver más claramente en la **Figura 4.6A**, donde se comparan ambas muestras. Asimismo, las propiedades morfológicas correspondientes al sector de la calicata 2 (adentro del invernadero) tendieron a asemejarse al horizonte E del suelo Argialbol típico, tal como se aprecia en la **Figura 4.6B**.



A- Comparación entre muestras de suelo: Calicata 1 (izquierda)-Calicata 2 (derecha); B-Comparación entre muestras de calicata 2 (izquierda) con un horizonte E de la Serie Los Hornos (centro, derecha).

Figura 4.6. Suelo observado en el laboratorio. Comparación de muestras entre calicatas, y con horizonte E de la Serie los Hornos.

Al comparar los datos analíticos de los perfiles de las calicatas realizadas, se destaca que el suelo correspondiente a la calicata 2 (interior del invernadero) presenta mayores niveles de alcalinidad, sodicidad y salinidad que se corresponde a la degradación mencionada precedentemente y avala la necesidad de la implementación de algún sistema de drenaje. Asimismo, se observa un empobrecimiento de la materia orgánica y enriquecimiento de algunos nutrientes tal como manifiestan Guiffre et al. (2004).

Esto refleja lo comentado en el punto 2.4, luego de varios años bajo cobertura plástica y con la implementación de prácticas de manejo no adecuadas (exceso de fertilización, de aplicación de enmiendas orgánicas sin determinar la calidad y sin ajuste de dosis), los suelos presentan degradaciones de distinta intensidad (Alconada 2010).

4.2. Propiedades físico-químicas del suelo

4.2.1. Salinidad, conductividad eléctrica

Análisis general

En la **Figura 4.7** se muestra la evolución de la salinidad superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm) medida en conductividad eléctrica (CE $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) durante todo el período estudiado (enero 2009-agosto 2011) para los tratamientos y el testigo.

Superficialmente, se aprecia una tendencia hacia la homogenización en la salinidad hacia el final del ensayo. El efecto de los drenes incidió en todo el sitio, incluso en el testigo (T4). Subsuperficialmente, las curvas de los diferentes tratamientos y el testigo, no difieren tan marcadamente, si bien como se analiza en puntos siguientes, se producen algunas diferencias significativas (Figura 4.7). Lo indicado para estas figuras, queda también reflejado en los valores promedio por año, y valores extremos (mínimo y máximo de cada año) presentados en las **Tabla 4.3**.

En superficie, la CE promedio en el 2009, resultó significativamente mayor en el testigo (T4) (P 0,01) respecto de los tratamientos, los cuales no difirieron entre sí ($6,1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ testigo; próximos a $3-4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ tratamientos). La amplitud entre valores extremos fue importante en todos los casos, y mayor aún en el testigo. Subsuperficialmente, el testigo ($3,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) se diferenció significativamente, pero sólo del T1 (dren diámetro 10cm) y T3 (yeso) (P 0,01) (próximos a $1,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Durante el 2010, hubo una disminución significativa respecto del 2009 en todos los sitios. No obstante, el testigo ($3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) continuó difiriendo significativamente del T2 ($2,1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (P 0,05), aunque no se diferenció del T1 y T3 ($2,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Tabla 4.3). Subsuperficialmente, no hubo diferencias significativas entre sitios (CE entre $1,8-2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Los valores mínimos en ambas profundidades fueron del mismo orden, próximos a $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y los máximos en todos los casos superaron los $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Hacia el 2011, en superficie disminuyeron aún más los valores promedios, siendo este descenso acentuado en los tratamientos con drenes. Los mismos, se diferenciaron del T3 y del T4 en forma significativa (P 0,01). En los tratamientos con drenes la amplitud de los valores extremos fue menor ($1,2$ a $2,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), por el contrario para los T3 y T4 ($1,2$ a $3,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Consecuentemente, si bien se fue produciendo hacia el año 2011 una homogenización de todo el sitio en los valores promedios, en los T3 y T4, aún habiendo recibido el efecto favorable de los drenes sobre el nivel de salinidad alcanzada, en algunas fechas continuaron produciéndose picos salinos (Tabla 4.3).

Subsuperficialmente, el T1 y T2 presentaron una CE significativamente inferior (próximos a $1,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) respecto al tratamiento con yeso y el testigo (próximos a $1,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), diferenciándose sólo del testigo (P 0,01) (Tabla 4.3).

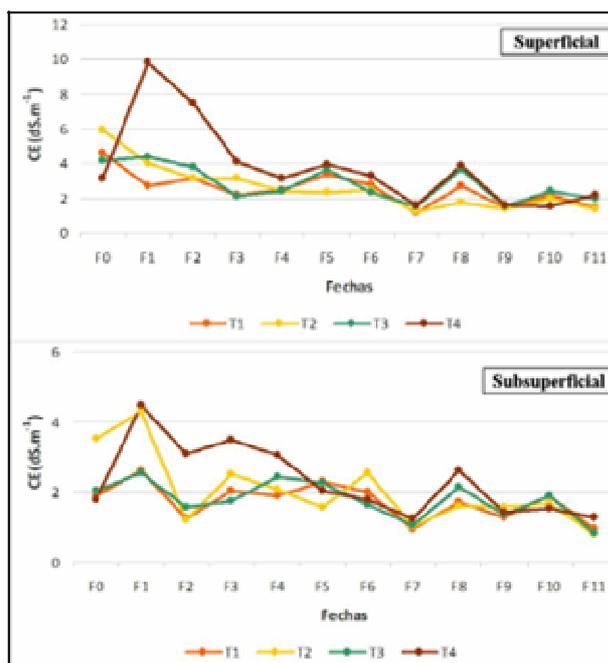


Figura 4.7. Evolución de la conductividad eléctrica (dS.m^{-1}) superficial (0-20cm) y subsuperficial. Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011.

		CE (dS.m^{-1})								
SUPERFICIAL		T1		T2		T3		T4		CV
Año										
2009	Promedio	3,2	bA	4,1	bA	3,6	aA	6,1	bB	26**
	Extremos	0,3-4,6		1,8-5,9		1,5-5,2		2,8-13,4		
2010	Promedio	2,5	aAB	2,1	aA	2,5	aAB	3,0	aB	41,6*
	Extremos	0,8-5,1		0,7-3,7		1,2-6,0		1,2-6,6		
2011	Promedio	2,0	aA	1,6	aB	2,4	aC	2,3	aC	15,1**
	Extremos	1,3-2,9		1,1-2,4		1,2-3,7		1,2-3,9		
	CV	43**		34,1*		40,3**		57,5**		
SUBSUPERFICIAL		T1		T2		T3		T4		CV
2009	Promedio	1,9	aA	2,9	aB	2,0	aA	3,2	aB	38,1**
	Extremos	0,7-3,2		0,9-5,4		0,7-3,8		1,0-9,3		
2010	Promedio	1,8	aA	1,8	bA	1,8	aA	2,0	bA	56,5
	Extremos	0,9-7,3		0,7-4,3		0,9-3,1		0,6-3,9		
2011	Promedio	1,5	aA	1,4	bA	1,6	aAB	1,7	bB	17,8**
	Extremos	1,0-2,5		0,8-2,4		1,0-2,5		1,0-2,0		
	CV	56,0		46,7**		32,2		55,2**		

* **, Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí.

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí.

Tabla 4.3. Valores de CE (dS.m^{-1}) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), promedios y extremos, periodo 2009-2011. Tratamientos y testigo.

Análisis detallado por año

4.2.1.1. Año 2009

Análisis superficial

En la **Tabla 4.4** se presentan los valores de CE promedio por fecha de muestreo durante el año 2009. Los valores que se consignan en cada fecha corresponden a los promedios por fecha y tratamiento, excepto para la F0, tal como se explica en materiales y métodos.

Fecha 0_. Previo a la instalación de los tratamientos (enero, 2009), la elevada salinidad fue generalizada en todo el invernáculo, con un promedio de 4,5 dS.m⁻¹ y valores extremos de 3,1–5,9 dS.m⁻¹. Especialmente, el sitio donde posteriormente se instaló el T2 (dren 15) presentó un nivel algo mayor de salinidad (5,9 dS.m⁻¹), diferenciándose significativamente con el T4 (testigo).

Esta variabilidad en todo el invernáculo, así como los niveles medidos, es coincidente con lo reportado en la región en otros estudios, atribuido a la calidad del agua, tipo de suelo y prácticas de manejo que comúnmente se realizan en estos esquemas productivos intensivos bajo invernadero (Alconada et al. 2006). Se destaca en estos trabajos, la ocurrencia de picos salinos en superficie asociados al manejo y condiciones climáticas (Alconada et al. 2004a; 2004b).

Cabe destacar, que este nivel de salinidad compromete el rendimiento del cultivo. Al respecto, se establece como límite máximo de salinidad para no afectar la producción un nivel de 2,2 dS.m⁻¹ (Porta et al. 1994; Chartzoulakis y Klapi 2000; Reche Marmol 2010).

Fechas 1 y 2_. En marzo, a los 75 días después de transplantado (ddt) el cultivo, cuando se encontraba en plena etapa de crecimiento vegetativo (crecimiento lento, con baja tasa de absorción de nutrientes); y en junio (F2, 165 ddt), donde por el contrario, el cultivo presentaba un crecimiento acelerado (hojas, frutos jóvenes y llenado de frutos) y con mayor absorción de nutrientes, los tratamientos con drenes presentaron una salinidad significativamente menor (P 0,01) (Tabla 4.4), con una disminución entre un 30-40% respecto de F0. Consecuentemente, en estos tratamientos no se observaron variaciones en la salinidad que se vinculen al momento del ciclo fenológico, tal como ha sido reportado para la región (Nuez et al. 1996). Esto no ocurrió en el T3, con yeso, donde la CE se mantuvo casi constante durante F0, F1 y F2, sin diferencia significativa entre fechas (P 0,05). Este resultado difiere del encontrado en otros estudios (López Aguilar et al. 2012) en los cuales luego de la incorporación del yeso al suelo el nivel de salinidad aumenta.

Por el contrario, en el testigo (T4), para las fechas mencionadas (F1 y F2) aumentó la CE en más de un 200% respecto de F0 (inicio), por lo tanto estas fechas se diferenciaron significativamente de F0 (P 0,01). Así en F1 (marzo), la salinidad fue en promedio de 9,8 dS.m⁻¹ y en F2 (junio) de 7,5 dS.m⁻¹ (Tabla 4.4). Con estos valores de CE, el T4 se diferenció significativamente (P 0,01) del resto de los tratamientos. Por consiguiente, se observaron, solo en este tratamiento, los picos de alta salinidad mencionados como característicos de la región de estudio en función del ciclo productivo (Alconada et al. 2006). Esto se aprecia en la **Figura 4.8**.

Cabe destacar, que el nivel de salinidad que se presentó en el testigo en estas fechas (F1 y F2), pudo haber comprometido el rendimiento del cultivo, ya que se considera que con niveles de $8,5 \text{ dS.m}^{-1}$, el rendimiento puede llegar a ser nulo (Reche Marmol 2010). El efecto de la salinidad en el cultivo será discutido en el punto 5.1.

Fecha 3_. En agosto (final del ciclo productivo, sin cultivo) disminuyó la salinidad respecto a F2 (junio) en forma significativa para el T3 y el T4 (P 0,05). Los tratamientos con drenes, se mantienen en el mismo orden de valores entre las fechas F1 a F3. El testigo continuó presentando una salinidad significativamente mayor respecto del T1 y T3 (P 0,05).

	CE (dS.m^{-1}) superficial					CV
	T1	T2	T3	T4	CV	
F0	4,6 a	5,9 a	4,1 a	3,1 a		
F1	2,7 bA	4,0 bA	4,4 aA	9,8 bB	24,4	
F2	3,1 bA	3,1 cA	3,8 aA	7,5 cB	42,3	
F3	2,2 bA	3,2 cAB	2,1 bA	4,1 aB	34,5	
CV	31,0	14,8	15,0	30,1		

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.4. Conductividad eléctrica (dS.m^{-1}) superficial (0-20cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2009. Tratamientos y testigo.

Si se compara la CE obtenida al final del ciclo (F3) respecto a la situación inicial (F0), se observa que en los tratamientos disminuye aproximadamente en un 50%, no así en el testigo que por el contrario aumenta hasta en un 30%. Se observa entonces, que aun aplicando igual volumen de agua en los riegos, las sales se acumulan en el testigo, debido a que no se impide el ascenso capilar tal como ocurre en los drenes (Figura 4.8).

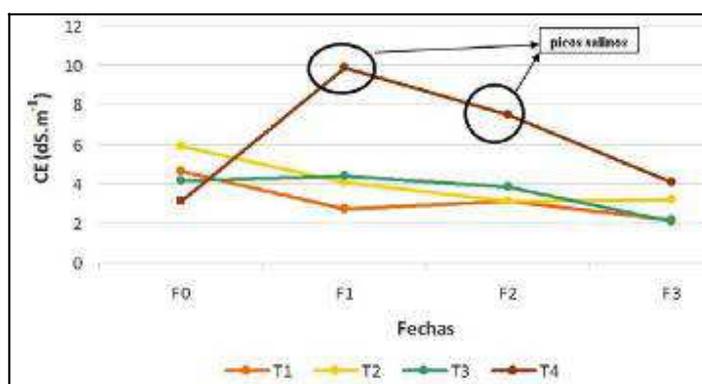


Figura 4.8. Evolución de la conductividad eléctrica (dS.m^{-1}), superficial (0-20cm). Comparación entre sitios. Año 2009.

En la **Figura 4.9**, se presenta en forma gráfica, la diferencia entre el dren de mayor diámetro (T2) respecto al testigo (T4), al inicio y al final del ciclo productivo. En la misma se observa, que al inicio (F0) el T2 presentaba una CE superior en un 47% respecto al testigo. No obstante, luego de la aplicación de los tratamientos esta situación se revierte, y el T2 disminuye un 20% su valor de CE respecto del testigo, al final del ciclo (F3).

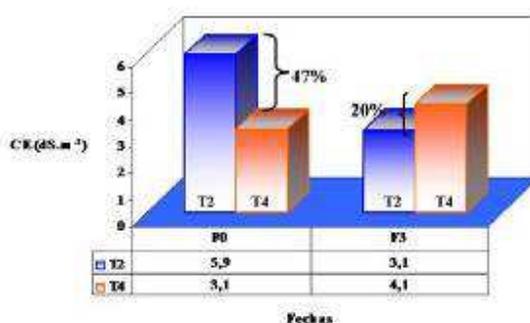


Figura 4.9. Comparación de los valores superficiales (0-20cm) de CE (dS.m⁻¹), al inicio y al final del 2009, entre el T2 (dren 15) y el testigo.

Los picos salinos que se observaron en el testigo se manifestaron visualmente en el suelo como halos salinos alrededor del bulbo húmedo del gotero de la cinta de riego (Figura 4.10), este halo se presentó desde inicio del ciclo, y conforme al crecimiento y a los requerimientos nutricionales del cultivo se fue manifestando con mayor intensidad. Asimismo en la **Figura 4.10**, se puede observar como el sistema de riego por goteo, favorece la acumulación de sales en la periferia del bulbo humedecido (Osorio y Céspedes 2000).



Figura 4.10. Presencia de halos salinos alrededor del gotero de la cinta de riego.

En síntesis, se inició el ensayo con una salinidad elevada en todo el sitio, la implementación de los tratamientos (con drenes y yeso) condujeron a un descenso de la misma. El testigo se diferenció de los tratamientos durante el ciclo del cultivo con la presencia de picos salinos característicos de la región de estudio. Estos picos se producen por el ascenso capilar que se origina entre dos riegos consecutivos cuando los niveles de sales son muy elevados. Se manifestaron visualmente como halos salinos alrededor del gotero de la cinta de riego. Los niveles de salinidad que se presentaron en el testigo principalmente, pudieron perjudicar el desarrollo del cultivo, afectando los rendimientos.

Análisis subsuperficial

En la **Tabla 4.5**, se presenta los valores promedio de CE subsuperficial (20-40cm).

Fecha 0_. Si bien la salinidad a esta profundidad fue menor en todos los casos respecto a la superficial, se observó un comportamiento similar entre ambas profundidades. Al igual que lo ocurrido en superficie, hubo una alta variabilidad en la salinidad inicial, variando entre 1,8 y 3,5 dS.m⁻¹. En el sitio donde luego se instaló el T2 presentó una CE significativamente mayor (entre 40-50%) (Tabla 4.5).

Fecha 1_. Hacia F1 (75 ddt), en todos los casos aumentó la salinidad respecto a la fecha inicial (F0), excepto para el T3, para el resto de los sitios este incremento fue significativo (P 0,05). El T2 y T4, con mayor nivel de salinidad, se diferenciaron significativamente del T1 y T3 (P 0,01). El mayor nivel en T2, estuvo asociado a una mayor salinidad en dicho sitio previo a la instalación de los drenes. Asimismo, la fertilización implementada en el sitio, provocó el aumento de salinidad en el testigo, situación frecuente en la región de estudio (Alconada et al. 2011). No obstante, hay que considerar que en los sitios donde estaban aplicados los tratamientos este aumento de salinidad no fue tan marcado.

Fecha 2_. En F2 (165 ddt), se produjo un descenso de la CE en todos los casos, siendo esta disminución significativa en los tratamientos (P 0,05). En el T2 se produjo el descenso mas acentuado (de 4,3 a 1,2 dS.m⁻¹). Al igual que en superficie el testigo se diferenció significativamente de los tratamientos (P 0,05).

Fecha 3_. Final del ciclo, en todos los casos aumentó la salinidad respecto de F2, este aumento de salinidad se asocia principalmente al estado del suelo en esta fecha de muestreo, debido a que el cultivo se ha levantado y por consiguiente el riego se ha suspendido. Respecto al comportamiento de los tratamientos y el testigo, se observa que este último (T4) con un promedio de 3,5 dS.m⁻¹ se diferenció significativamente de los tratamientos (P 0,05).

CE (dS.m ⁻¹) subsuperficial									
	T1		T2		T3		T4		CV
F0	1,9	b	3,5	ab	2,1	ab	1,8	a	
F1	2,6	cA	4,3	bB	2,5	bA	4,5	bB	39,5
F2	1,2	aA	1,2	cA	1,6	aA	3,1	abB	57,4
F3	2,0	bA	2,5	dA	1,8	abA	3,5	abB	32,0
CV	17,7		19,0		32,9		52,3		

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05)
 Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.5. Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2009. Tratamientos y testigo.

La correlación entre ambas profundidades no fue significativa. Sin embargo, se observa que los tratamientos con drenes presentaron una distribución de la salinidad con menor amplitud hasta los 40cm. Por el contrario, el T3 y T4 presentaron una concentración en superficie. Lo cual claramente se visualiza que el ascenso capilar se produce cuando no se mejora el drenaje.

En síntesis, en base a lo expuesto, se aprecia que la evolución de la salinidad superficial difiere de la subsuperficial. En superficie se produjo una marcada disminución salina, respecto a la situación inicial, que difiere de lo ocurrido subsuperficialmente. A esta profundidad (20-40cm), los valores se mantuvieron en el mismo orden, y aunque en algunas fechas se produjeron diferencias no se originaron los valores extremos (pico salinos) que sí se observaron en superficie. No obstante a la falta de correlación entre las distintas profundidades, se observa un comportamiento diferente entre los tratamientos y entre estos y el testigo.

4.2.1.2. Año 2010

En la **Tabla 4.6**, se presentan los valores de CE en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm) por fecha de muestreo, para los tratamientos y el testigo durante el año 2010.

Análisis superficial

Fecha 4_. En enero, previo a la plantación del cultivo, habiendo transcurrido seis meses del último muestreo, se obtuvieron valores próximos a 2,5 dS.m⁻¹, semejantes a los obtenidos al final del ciclo del año 2009 (F3) (2,9 dS.m⁻¹). Asimismo, en esta fecha los valores son similares en todos los sitios.

Fecha 5_. En marzo (cultivo pleno crecimiento vegetativo), a excepción del T2, la salinidad se incrementa respecto de F4. Esto puede atribuirse al inicio de la fertilización en esta fecha. El T2 presentó el menor nivel de salinidad (2,4 dS.m⁻¹) respecto del resto de los sitios (próximos a 3,5 dS.m⁻¹), no habiendo diferencias significativas, la falta de significancia se pudo deber a la elevada variabilidad de los datos (CV 63%) (Tabla 4.6).

Fecha 6_. En junio (165 ddt), con el cultivo en la etapa de máximo crecimiento y demanda nutritiva, excepto para el T2 que la CE se mantuvo en el mismo orden de valores, hubo una disminución de la salinidad en todos los sitios. Al igual que en la fecha anterior, debido a la elevada variabilidad de los datos (CV 35%), no hubo

diferencia significativa entre sitios. Sin embargo, cabe destacar que el testigo presentó la mayor salinidad (Tabla 4.6).

Fecha 7_. Hacia F7 (agosto), final del ciclo suelo sin cultivo, y consecuentemente sin riego y fertilización, tal como se produjo en el año anterior, los valores de CE continúan disminuyendo, encontrándose en un rango entre 1,2 y 1,6 dS.m⁻¹ (Tabla 4.6). Esta disminución no solo se pudo deber al momento de muestreo, si no que también se puede adjudicar al efecto del sistema de drenaje que tendió hacia la homogenización de todo el sitio.

En síntesis, no hubo diferencia significativa entre sitios durante el desarrollo del cultivo, no obstante el testigo presentó los mayores niveles de salinidad. A diferencia de lo ocurrido en el 2009, el testigo no presentó los picos salinos. Hacia el final del ciclo, hubo una disminución generalizada de la salinidad que se pudo deber no solo al momento de muestreo, si no que también, al igual que lo sucedido en el 2009, al efecto del sistema de drenaje que tendió a homogenizar la salinidad en el sitio de estudio.

Análisis subsuperficial

Fecha 4_. Se inicia el ciclo, previo al trasplante con una salinidad que varía entre 1,9 y 3 dS.m⁻¹, no difiriendo de lo obtenido en el muestreo final (F3) del año del 2009. Esto se corresponde con lo sucedido en superficie, aunque con magnitudes diferentes (Tabla 4.6).

Fechas 5 y 6_. En F5 (75 ddt) y en F6 (165ddt), con el cultivo implantado, en pleno crecimiento y fertirrigado, la salinidad no se diferenció significativamente entre sitios y fechas de muestreo. Los valores promedios estuvieron entre un mínimo de 1 dS.m⁻¹ y un máximo de 2,2 dS.m⁻¹ (Tabla 4.6).

Fecha 7_. Al igual que en superficie, al final del ciclo, hubo un descenso de la salinidad (respecto de F6) en todos los casos (próximos 1 dS.m⁻¹).

CE (dS.m ⁻¹) 2010					
SUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F4	2,5	2,5	2,5	3,1	-
F5	3,4 aA	2,4 aA	3,6 aA	3,9 aA	62,6
F6	2,8 aA	2,5 aA	2,3 aA	3,3 aA	34,8
F7	1,2	1,2	1,6	1,6	-
CV	51,2	35,9	58,0	50,7	
SUBSUPERFICIAL					
F4	1,9	2,1	2,4	3,0	-
F5	1,0 aA	1,2 aA	1,7 aA	2,1 aA	63,7
F6	1,4 aA	2,2 aA	1,6 aA	1,8 aA	48,7
F7	0,9	1,0	1,1	1,2	-
CV	35,5	45,8	51,4	71,6	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05)

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.6. Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2010. Tratamientos y testigo.

Al igual que lo indicado para el año 2009, no hubo correlación entre valores superficiales y subsuperficiales. La salinidad se concentró en superficie, principalmente en el testigo, mientras que subsuperficialmente se mantuvo en todos los casos en más bajos niveles y con menor variabilidad.

En síntesis, si bien se inicia el ciclo con valores semejantes a los obtenidos en F3, durante el desarrollo del cultivo la salinidad disminuye y no se presentó diferencia entre sitios. Al final del ensayo, al igual que en superficie hubo un descenso generalizado de la CE.

4.2.1.3. Año 2011

Previo a efectuar el análisis del presente año, se destaca la ocurrencia de una tormenta (finales de diciembre 2010) que provocó la destrucción parcial del techo del invernadero, afectando parte del T3 y T4, durante aproximadamente una semana. La precipitación acaecida en esta tormenta fue de 80mm y se estima que una parte importante de esta tuvo efecto directo en el suelo de los sitios mencionados, tal como se analiza a continuación.

En la **Tabla 4.7**, se presentan los valores de CE en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm) por fecha de muestreo, para los tratamientos y el testigo durante el año 2011.

Análisis superficial

Fecha 8_. Inicialmente (enero, previo al trasplante) hubo una elevada variabilidad en la salinidad de todo el sitio. Los valores se diferenciaron entre sí y resultaron superiores a los obtenidos al final del ciclo precedente (F7). Esto es diferente a lo observado entre el año 2009 y 2010 (F3 y F4 respectivamente).

Este aumento generalizado de la salinidad respecto a F7, fue significativo y mayor en el T3 y en el testigo (de 1,6 dS.m⁻¹ F7 a 3,6 dS.m⁻¹ T3 y a 3,9 dS.m⁻¹ T4). En los drenes, el aumento fue menos pronunciado y la salinidad no superó los 2,7 dS.m⁻¹ (Tabla 4.7).

Fecha 9_. Hacia F9, (cultivo crecimiento vegetativo, 75ddt), en todos los sitios disminuyó la salinidad, sin diferencia significativa entre los mismos. Esto se asocia, tal como se comentó precedentemente, a la precipitación acaecida en T3 y T4. Se destaca, la baja salinidad de los tratamientos con drenes, lo cual se debió al funcionamiento de dichos drenes ya que la precipitación no afectó este sector. Así, en el T1 la CE disminuyó de 2,7 a 1,5 dS.m⁻¹ (Tabla 4.7).

Fecha 10_. En junio (165 ddt), cultivo con alta demanda nutritiva, se produjo un aumento de la CE respecto a la fecha anterior (F9), que fue significativo en los tratamientos, lo cual no ocurrió en el testigo. Dicho aumento en valores absolutos solo representa un incremento que varía entre 0,5-0,9 dS.m⁻¹ de CE (diferencia entre F9 y F10). En el testigo (T4), la baja salinidad puede atribuirse al efecto de dilución del agua de lluvia.

Fecha 11_. Hacia el final del ensayo (agosto, sin cultivo), la salinidad disminuye en los tratamientos con drenes, y por el contrario en el testigo aumenta significativamente (P

0,01). El T3 mantuvo los niveles de CE en el mismo orden que la fecha anterior (Tabla 4.7).

En síntesis, se aprecia que durante el 2011, los tratamientos con drenes tuvieron un comportamiento semejante durante todo el ciclo, con una salinidad en general baja (inferior a 2,7 dS.m⁻¹). Por el contrario, el T3 (yeso) y el T4 (testigo) presentaron al inicio niveles elevados. Posteriormente en estos últimos, durante el desarrollo del cultivo, se observa un descenso debido al agua de lluvia recibida. Igualmente no obstante lo señalado el T3 presentó en todas las fechas evaluadas mayores niveles de salinidad que los tratamientos con drenes. Hacia el final del ciclo, solo se produjo un descenso de la salinidad en los tratamientos con drenes.

Análisis subsuperficial

Fecha 8_. Al inicio, los tratamientos con drenes presentaron un baja salinidad (1,6-1,7 dS.m⁻¹), y al igual que lo observado en superficie, la misma fue inferior al T3 (yeso) y al T4 (testigo) (2,1- 2,6 dS m⁻¹ respectivamente) (Tabla 4.7).

Fecha 9_. A los 75 ddt, luego de acaecida la tormenta comentada precedentemente, se produce una disminución general de la salinidad, siendo más acentuada en los tratamientos afectados por dicha lluvia, T3 y T4.

Fecha 10_. En junio (165 ddt), la salinidad aumento en el T1 y en el T3, en valores absolutos el incremento solo fue aproximadamente de 0,5 dS.m⁻¹. No hubo entre sitios, diferencias significativas, los valores en todos los casos fueron inferiores a 2 dS.m⁻¹.

Fecha 11_. Hacia F11 (final del ciclo) en todos los sitios disminuye significativamente (P 0,05) la salinidad, los tratamientos presentaron valores menores (próximos a 0,9 dS m⁻¹) respecto del testigo T4 (1,3 dS.m⁻¹). En todos los casos la salinidad resulta adecuadamente baja. Se destaca que en el año precedente, 2010, se produjo hacia esta fecha (final de ciclo), una disminución general de la salinidad.

CE (dS.m ⁻¹) 2011						
SUPERFICIAL						
	T1	T2	T3	T4	CV	
F8	2,7	1,7	3,6	3,9	-	
F9	1,5 aA	1,4 aA	1,5 aA	1,6 aA	29,7	
F10	1,2 bAB	2,2 bAB	2,5 bB	1,6 aA	23,7	
F11	1,5 a	1,4 a	2,0 ab	2,2 b	-	
CV	14,2	13,6	24,9	25,1		
SUBSUPERFICIAL						
F8	1,7	1,6	2,1	2,6		
F9	1,3 aA	1,6 aA	1,3 aA	1,4 aA	27,6	
F10	1,9 bA	1,7 aA	1,9 bA	1,5 aA	23,3	
F11	0,96 c	0,8 b	0,8 c	1,3 a		
CV	16,5	29,8	24,7	19,8		

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05)

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.7. Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), en cuatro fechas de muestreo, año 2011. Tratamientos y testigo.

En síntesis, al igual que los observado en superficie el T3 y T4 iniciaron el ciclo con una CE mas elevada, no obstante luego de acaecida el agua de lluvia presentaron valores semejantes a los tratamientos con drenes. Hacia el final del ciclo se presento un descenso generalizado de la salinidad, situación que difiere de lo observado en superficie, en donde dicho descenso solo se produjo en los tratamientos con drenes.

En conclusión, para todo el periodo analizado (enero 2009-agosto 2011), el sistema de drenaje implementado tuvo un efecto no solo en los sitios en donde se instalaron, sino también en el resto de los sitios. Por consiguiente, hacia el final del ensayo tendió hacia una homogenización general de la salinidad. El testigo durante el primer año de evaluación presentó los picos salinos característicos de la región de estudio. El T3 no presentó como se esperaba aumento de la salinidad por la incorporación del yeso, aunque en general la salinidad de este tratamiento estuvo por encima de la observada en los tratamientos con drenes. Si bien, se vio en el T3 y testigo efecto de dilución por el agua de lluvia recibida, al poco tiempo se revirtió la situación y estos tratamientos aumentaron nuevamente su salinidad

4.2.2. Sodicidad (RAS)

Análisis general

En la **Tabla 4.8** se presenta los valores promedios de la sodicidad superficial (RAS, 0-20 cm) y subsuperficial (20-40cm) por año, por tratamiento y testigo, con su análisis estadístico conforme se indica en materiales métodos. Gráficamente estas Tablas se presentan en la **Figura 4.11**.

En superficie, se observan variaciones significativas ($P < 0,05$) entre sitios, desde el inicio del ensayo (enero 2009, F0) hasta marzo de 2010 (F5); y a partir de esta fecha hasta final del estudio (agosto 2011, F11), se uniforma el comportamiento, atribuyéndose las variaciones a las condiciones fenológicas del cultivo y al clima (Tabla 4.8). Consecuentemente, como más claramente se aprecia en la **Figura 4.11**, se dan 2 etapas, la primera hasta F5 donde las curvas se separan, y una segunda etapa, donde las curvas tienden a unirse. En general, se observa una disminución de la RAS en todos los sitios hacia final del ensayo (año 2011), como una tendencia a una homogenización general (entre 15,5-16,5).

Subsuperficialmente (Tabla 4.8 y Figura 4.11), en general, no hubo diferencias significativas en todo el período estudiado, con excepción del T2 (dren 15cm) y el T4 (testigo) que en algunas fechas iniciales presenta variaciones con el resto de los tratamientos, pero al final del ensayo, dichas diferencias no se producen. Así, en F11, los valores promedio varían entre 13,5-14 de RAS.

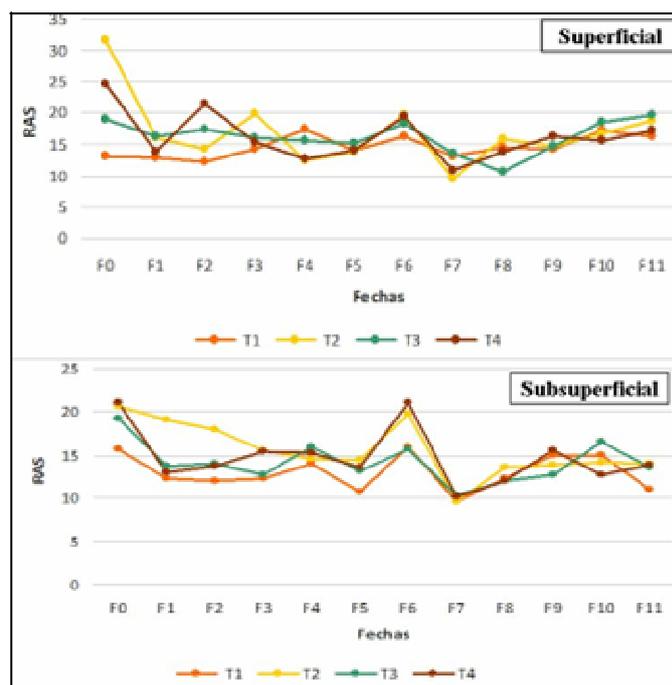


Figura 4.11. Evolución de la sodicidad (RAS) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto de 2011.

		RAS								
SUPERFICIAL		T1		T2		T3		T4		CV
Año										
2009	Promedio	13,0	aA	20,5	bB	18,0	aC	19,0	bBC	18,3**
	Extremos	8,5-19,0		12,0-31,6		13,0-30,0		10,5-29,0		
2010	Promedio	15,0	abA	14,0	aA	15,7	aA	14,0	aA	22,5
	Extremos	3,0-20,5		2,5-23,0		6,0-22,3		11,0-22,0		
2011	Promedio	15,5	baA	16,5	aA	16,0	aA	15,7	abA	17,9
	Extremos	13,0-18,0		12,0-38,0		9,0-27,0		11,5-28,6		
	CV	18,4*		32,3*		26,3		26,8**		
SUBSUPERFICIAL		T1		T2		T3		T4		CV
2009	Promedio	13,0	aA	18,0	aC	15,0	aB	16,0	aB	14,0
	Extremos	10,0-16,0		12,3-25,5		9,0-19,0		11,0-21,0		
2010	Promedio	12,7	aA	14,6	baA	15,7	aA	15,0	aA	31,8
	Extremos	3,7-23,0		4,0-23,0		2,7-23,0		4,3-31,5		
2011	Promedio	13,5	aA	14,0	baA	14,0	aA	13,5	aA	16,0
	Extremos	11,0-21,0		11,0-24,5		11,5-20,0		10,0-19,0		
	CV	26,6		24,9		30,9				

*, **: Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí.

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí.

Tabla 4.8. Valores de RAS superficiales (0-20cm) y subsuperficiales (20-40cm). Promedios por año y extremos. Tratamientos y testigo.

A continuación se comparan los resultados entre años. En este análisis, se incluyen todos los datos por año sin discriminar fechas.

El año 2009, muestra una elevada variabilidad en la RAS (CV 18,3%). Los sitios correspondientes a los drenes presentaron condiciones extremas de sodicidad, siendo significativa dicha diferencia (P 0,05). Así, en el T1 (dren 10), se obtuvo una RAS de 13 mientras que en el T2 (dren 15) fue de 20,5. Asimismo, los drenes se diferenciaron del yeso (P 0,01); y sólo el dren del T1, del testigo (P 0,01). Se destaca la amplitud entre valores mínimos y máximos (10-30), excepto para el T1 cuyo máximo fue de 19 (Tabla 4.8).

Subsuperficialmente (Tabla 4.8), la variabilidad entre tratamientos fue algo menor (CV 14%). Sin embargo, al igual que en superficie, los tratamientos con drenes, se diferenciaron significativamente (P 0,05) entre sí (T1 13; T2 18), y del T3 (yeso), y en este caso, además ambos se diferencian del testigo (próximo a 15). Asimismo, los mínimos fueron semejantes a los superficiales (próximos a 10), aunque algo menores los máximos (16-25,5).

En el año 2010, no hubo en la RAS diferencias significativas en ningún caso, los valores promedio fueron próximos a 15. La ausencia de significancia se debió a un elevado coeficiente de variabilidad (CV 22,5%). La amplitud entre los valores mínimos y máximos, principalmente en los tratamientos con drenes fue marcada. Los valores mínimos de RAS fueron muy bajos (T2 2,5; T1 3) mientras que los máximos fueron próximos a 20.

Al igual que en superficie, subsuperficialmente (20-40cm) (Tabla 4.8) no hubo diferencias significativas en la RAS y los valores promedio fueron próximos a 14. Asimismo, la amplitud entre máximos y mínimos resultó elevada, siendo el coeficiente de variabilidad de 31,8. Se destaca el valor máximo obtenido en el testigo (RAS 31,5).

Lo observado en el 2010, se continúa en el 2011 en superficie. Los valores se mantienen en un mismo rango en todos los sitios (15,5-16), y no se observan diferencias significativas en ningún caso. Los RAS mínimos fueron semejantes entre sí (próximos a 9-13) si bien, resultaron significativamente mayores que los obtenidos en los tratamientos durante el 2010 (entre 2,5-6). Es de destacar, que el testigo no difiere ni en medias ni en extremos respecto a 2010. Sin embargo, los valores máximos variaron marcadamente según el caso (entre 18 y 38).

Subsuperficialmente (Tabla 4.8) no hubo diferencias significativas entre sitios y aunque algo inferior a lo observado en superficie, se mantuvo en el mismo orden de valores (próximos a 13,5).

En síntesis, si bien se aprecian diferencias en los valores de RAS, llegando a ser estadísticamente significativas en algunos casos, y en general, tiende a disminuir la sodicidad levemente en algunos casos hacia el final del ensayo, los valores de RAS continúan siendo a priori elevados para una adecuada permeabilidad, y los drenes no parecieran funcionar en igual sentido.

La RAS del agua de riego define la RAS del suelo. Así, el agua tuvo una RAS de 7,73 y una CE de 820 $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$, lo cual la califica como un agua de riesgo moderado a importante para salinización-alcalinización (Ayres y Wescott 1987).

Se destaca, además el elevado contenido de HCO_3^- , que la define de peligrosidad media a importante en un riego por aspersión. Igualmente, resulta en un contenido muy elevado de HCO_3^- que conduciría a una precipitación elevada del Ca^{+2} y Mg^{+2} presente en el suelo como CaCO_3 y MgCO_3 , elevando así la RAS (Pla Sentís 1983).

El elevado contenido de Na^+ en el agua de riego ($7,3 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$), y bajos contenidos de Ca^{2+} ($1,1 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) y Mg^{2+} ($0,7 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) agudizan la elevación de la RAS conforme precipitan las sales de Ca^{2+} y Mg^{2+} edáfica.

Análisis detallado por año

4.2.2.1. Año 2009

Análisis superficial

En la **Tabla 4.9**, se presentan los valores promedio de RAS y de los cationes solubles, Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en superficie (0-20cm), para el año 2009.

Fecha 0_. Los niveles iniciales de la RAS (enero, F0), previo a la instalación de los tratamientos, mostraron una elevada variabilidad. Los sitios donde se instalaron los drenes presentaron la más baja y alta sodicidad. Así, en el T1 (dren 10) la RAS fue de 13 y en el T2 (dren 15) de 31,6. Esta marcada diferencia, en el T1 fue debida principalmente al mayor contenido de Ca^{2+} ($14 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) y Mg^{2+} ($4,4 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$), respecto a los restantes sitios (Ca^{2+} entre $2,5-9,2 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$ y Mg^{2+} próximos a $2,0 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$). En el T2, esto se debió a un significativamente mayor contenido de Na^+ ($76,4 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) respecto de los restantes (próximos a $37 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) (Tabla 4.9). En general, la concentración de cationes solubles fue mayor a los niveles encontrados en otros estudios en la región (Alconada et al. 2006; Cuellas y Alconada 2010).

Fecha 1_. En marzo (F1, cultivo en crecimiento vegetativo, 75ddt), la RAS disminuye en todos los casos (respecto de F0), siendo esta disminución significativa (P 0,05) en el T2 y en el testigo. La disminución en el T2 se debió a un descenso significativo (respecto de F0) (P 0,01) del nivel de Na^+ ($32,3 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$), reflejado en el coeficiente de correlación entre ambas variables (r 0,85; RAS-Na). Asimismo también se observó para este tratamiento una disminución significativa (P 0,05) de la salinidad (punto 4.2.1.1).

En el testigo, el descenso de la RAS se produjo no obstante el aumento significativo de Na^+ ($65,5 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) (P 0,01), y la alta correlación entre ambas (r 0,98; Na-RAS), debido al aumento significativo (P 0,01) del Ca^{2+} ($27,8 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$) y del Mg^{2+} ($4 \text{ me}\cdot\text{l}^{-1}$), que también se diferenciaron significativamente de los tratamientos (P 0,01) (Tabla 4.9). El aumento de Na^+ en el testigo (T4), se correlaciona con la salinidad (r 0,81) que también aumentó significativamente (P 0,01) en esta fecha (F1) y encontrándose en una concentración de $9,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Tal como se mencionó precedentemente (punto 4.2.1.1) esto se manifiesta como picos salinos, que visualmente se presentan como halos salinos (eflorescencias blanquecinas) alrededor del bulbo que forma el gotero de la cinta de riego (Figura 3.11). El aumento de los cationes en el testigo, si bien proviene del agua de riego,

principalmente es el aportado por los fertilizantes ya que el agua de riego es de tipo bicarbonatada sódica (esto se discutirá en el punto 4.5).

Fecha 2_. En F2 (junio, cultivo con máximo crecimiento y demanda de nutrientes, 165 ddt) en el testigo la RAS aumenta significativamente (P 0,05) respecto de F1 (marzo), (13,7 a 21,4), y se diferencia (P 0,05) de los tratamientos con drenes (próximos a 13 RAS) aunque no lo hace respecto al T3 (17,4 RAS) (Tabla 4.9). El aumento de la RAS en el testigo, se debió a la disminución significativa (P 0,05) del Ca^{2+} (27,8 a 12,6 me.l^{-1}) y a que mantuvo elevado el nivel de Na^+ (65,5 me.l^{-1}) (r 0,95; RAS- Na). Tal como ocurrió en la fecha anterior, la elevada concentración de Na^+ difirió de los tratamientos (P 0,05) (entre 23,7 y 30,0 me.l^{-1}). La salinidad también fue elevada (7,5 dS.m^{-1}), y se correlacionó significativamente con la RAS y con el Na^+ (r 0,95; RAS-CE, r 0,99; Na-CE). Se destaca, que no obstante lo indicado respecto al Ca^{2+} , la concentración en el testigo continúa siendo significativamente mayor que en los tratamientos con drenes e incluso que el tratamiento con yeso (P 0,05) (Tabla 4.9).

Fecha 3_. En F3 (agosto, final del ciclo productivo, suelo sin cultivo), tal como sucedió al inicio (F0) los tratamientos con drenes presentaron mas bajo y más alto RAS (T1 14 y T2 19,8) con diferencia significativa (P 0,05) entre sí, y sin diferencia con el T3 y T4 (próximos a 15). La diferencia entre los tratamientos con drenes se debió al Na^+ (T1 18 me.l^{-1} y T2 26 me.l^{-1}), debido a la elevada variabilidad de los datos (CV 35,5 %) las diferencias no llegan a ser estadísticamente significativas.

Al igual que en las fechas anteriores, en el testigo, se observaron las mayores concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} , diferenciándose significativamente del T1 y T3 en el Na^+ , y todos los tratamientos en el Ca^{2+} y Mg^{2+} (P 0,05) (Tabla 4.9). Lo mencionado, se corresponde con lo sucedido en la salinidad tal como se analizó en punto 4.2.1.1. El testigo presentó una CE significativamente mayor que los tratamientos (P 0,05), con un elevado coeficiente de correlación ($r > 0,83$) entre dicha CE y los cationes solubles. Respecto al contenido de Na^+ en F3 en los tratamientos, resultó significativamente menor que al inicio del ensayo (F0), con un descenso del 55, 65 y 50 % para T1, T2 y T3 respectivamente. Esto no se produjo en el testigo, no presentó diferencia entre el nivel inicial y final. Esto se puede visualizar más claramente en la **Figura 4.12**, donde se compara para todos los sitios el nivel de Na^+ entre el inicio y final del ciclo.

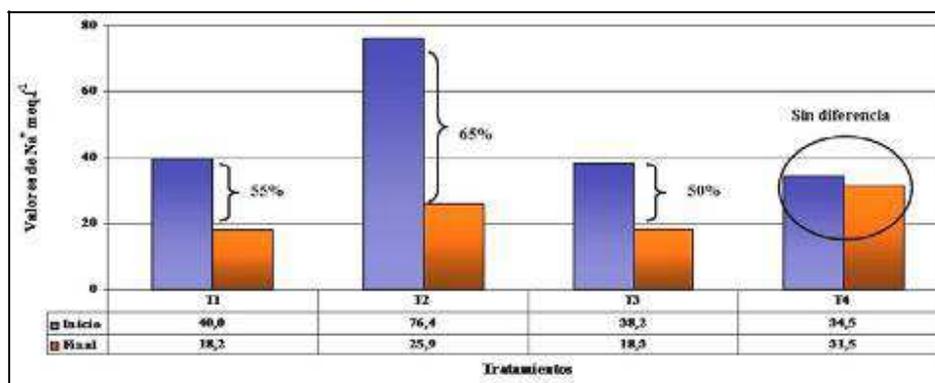


Figura 4.12. Comparación entre sitios de niveles iniciales y finales de Na^+ (me.l^{-1}) superficial (0-20cm). Año 2009.

SUPERFICIAL-2009					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F0	13,0 a	31,6 a	18,9 a	24,7 a	-
F1	12,8 aA	16,1 bcB	16,4 aB	13,7 bAB	15,5
F2	12,3 aA	14,3 cA	17,4 aAB	21,4 aB	24,6
F3	14,1 aA	19,8 bB	16,1 aAB	15,4 bAB	25,0
CV	19,2	16,1	14,7	17,7	
Na⁺ (me.l⁻¹)					
F0	40,0 b	76,4 c	38,2 c	34,5 a	-
F1	21,7 aA	32,3 bA	34,3 bcA	65,5 bB	35,4
F2	24,8 aA	23,7 aA	30,0 bA	65,5 bB	45,5
F3	18,0 aA	26,0 abAB	18,3 aA	31,5 aB	35,5
CV	20,8	13,7	11,3	41,1	
Ca²⁺ (me.l⁻¹)					
F0	14,0 a	9,0 a	7,5 a	2,5 a	-
F1	4,4 bA	6,5 bA	6,8 aA	27,8 bB	32,4
F2	8,8 cA	3,8 cB	4,0 bB	12,6 cC	23,8
F3	2,4 dA	2,4 dA	2,1 cA	4,6 aB	36,7
CV	15,8	13,0	29,2	41,4	
Mg²⁺ (me.l⁻¹)					
F0	4,4 b	2,5 a	2,2 bc	1,4 a	-
F1	1,4 aA	1,8 bA	2,7 cB	4,0 cC	26,9
F2	1,4 aA	1,5 bA	1,6 bA	3,1 bB	28,7
F3	1,3 aA	0,8 cA	0,7 aA	2,6 bB	54,7
CV	19,4	18,5	36,6	30,2	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).
Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.9. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺. Año 2009. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

En síntesis, se aprecia que en el año 2009 se produjeron algunas diferencias a favor de los tratamientos con drenes y en menor medida en el tratamiento con yeso en los valores de RAS y principalmente de Na⁺.

Sin embargo, no se observa un patrón de evolución claro en la RAS produciéndose variaciones en algunas fechas, asociadas a una importante variabilidad en los contenidos de cationes solubles. En general en el testigo, se observaron los mayores niveles de Na⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺ lo cual conduce a que en algunas fechas incluso disminuya la RAS, si bien no la salinidad. El Na⁺, es el catión que difiere marcadamente a favor de los drenes.

Análisis subsuperficial

En la **Tabla 4.10**, se presentan los valores de la RAS y de los cationes solubles, Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en subsuperficie (20-40cm).

Fecha 0_. Al igual que en superficie, el sitio donde luego se instala el dren de mayor diámetro (T2), presentó niveles elevados en los cationes solubles (40,7 me.l⁻¹ Na⁺; 6,4 me.l⁻¹ Ca²⁺ y 1,4 me.l⁻¹ Mg²⁺), no obstante tuvo una RAS similar al T3 y T4 (próximos a 20). En el T1, al igual que en superficie, se parte de una menor RAS (15,7). Se aprecia entonces, que subsuperficialmente respecto a superficie, se parte de una menor amplitud y variabilidad de la sodicidad.

Fecha 1_. La alcalinidad disminuye significativamente (respecto de F0) en todos los casos, excepto para el T2 donde esta disminución no es significativa. Contrario a lo

esperable, el T2 con una RAS de 19 resultó significativamente mayor (P 0,05) del resto de los tratamientos y del testigo (próximos a 13). Este comportamiento de la RAS, no puede ser fácilmente explicado porque las diferencias entre sitios de los cationes resultaron variables. Asimismo en la **Tabla 4.10**, no se observa que estas diferencias entre cationes sean en general estadísticamente significativas. Cabe destacar, que la CE en el testigo aumento significativamente en esta fecha, esto pudo estar asociado a aumentos en algunos de los cationes, principalmente el Ca^{2+} y Mg^{2+} . Consecuentemente, para esta profundidad la RAS fue relativamente homogénea, disminuyendo en general respecto a la fecha anterior.

Fecha 2_. La RAS continúa en el mismo orden de valores que la fecha anterior, sin diferencias estadísticas. Tal como sucedió en F1, el T2 (18 RAS) se diferencio del resto de los tratamientos y el testigo (entre 12 y 14). Se destaca, que en este caso como en lo comentado en fecha anterior, los valores de RAS no presentaron una amplitud tan marcada como se produjo en superficie.

El testigo mantuvo elevado la concentración de Na^+ (29,4 me.l^{-1}) asociado a elevada salinidad (r 0,99; CE-Na). También en los cationes restantes, los niveles en el testigo resultaron mayores. A diferencia de la RAS, hubo una mayor amplitud, principalmente en Ca^{2+} , que llego a 10,4 me.l^{-1} mientras que en los restantes sitios no supero los 4,6 me.l^{-1} (Tabla 4.10).

Fecha 3_. Al finalizar el ciclo, la RAS no se diferenció significativamente entre sitios, aunque se aprecian algunas variaciones en los promedios, tal como un ligero aumento en el testigo. Al igual que en las fechas anteriores, hubo diferencias más marcadas en las concentraciones de los cationes, tendiendo a ser más elevados en el testigo (Tabla 4.10).

SUBSUPERFICIAL-2009					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F0	15,7 a	20,6 a	19,2 a	21,0 a	-
F1	12,4 bA	19,0 abB	13,7 bA	13,0 bA	18,6
F2	12,0 bA	18,0 abB	14,0 bA	13,7 bA	14,8
F3	12,3 bA	15,5 bA	12,8 bA	15,4 bA	19,4
CV	13,3	14,9	13,7	11,8	
Na^+ (me.l^{-1})					
F0	21,3 b	40,7 a	24,0 a	23,5 a	-
F1	20,5 bA	36,2 abB	20,3 abA	29,8 abB	21,8
F2	15,0 aA	27,2 bB	17,8 bA	29,3 abB	26,7
F3	15,5 aA	19,6 cA	15,6 bA	28,2 abB	28,8
CV	14,9	18,5	17,1	24,4	
Ca^{2+} (me.l^{-1})					
F0	3,1 ab	6,4 a	2,2 ab	1,7 a	-
F1	4,2 bAB	6,1 aBC	2,5 bA	7,1 bcC	32,1
F2	2,7 aA	4,6 aA	2,5 bA	10,4 cB	61,7
F3	2,9 ab	2,4 bAB	1,5 aA	4,1 abC	35,0
CV	30,0	36,9	27,7	52,7	
Mg^{2+} (me.l^{-1})					
F0	0,6 a	1,4 a	0,9 ab	0,8 a	-
F1	1,4 cA	1,3 aA	1,0 bA	2,3 bcB	34,8
F2	0,7 abA	1,3 aB	0,7 abAB	2,6 cC	35,2
F3	0,9 bA	0,8 bA	0,6 aA	1,4 abB	31,5
CV	24,1	15,9	25,3	38,7	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.10. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Año 2009. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

En síntesis, subsuperficialmente en el año 2009 la sodicidad medida en RAS resultó poco afectada por los tratamientos. En general, los valores presentaron poca amplitud, siendo más marcada en el testigo, donde las variaciones en algunos cationes solubles, tendieron a aumentar la RAS. En los tratamientos, en general, aun sin afectar la RAS se aprecia una disminución de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} . Sin embargo, en ningún caso fueron lo suficientemente bajos como para afectar la nutrición de los cultivos, tal como se analiza en punto 4.2.4.

Dada la relativa homogeneidad de las variables estudiadas a esta profundidad, en contraste con la alta variabilidad en superficie, los coeficientes de correlación entre los valores superficiales y subsuperficiales no resultaron significativos en ningún caso.

4.2.2.2. Año 2010

Análisis Superficial

En la **Tabla 4.11**, se presentan los valores de RAS y de los cationes solubles, Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} superficiales (0-20cm).

Fecha 4_. La RAS inicial previo a la plantación del cultivo (enero), fue más homogénea entre sitios respecto del inicio del ensayo (F0), con valores similares a los obtenidos al final del año 2009 (F3). La RAS vario entre 12,4-17,5 y la concentración de Na^+ entre 22,8-28 me.l^{-1} .

Las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , para los tratamientos fueron menores a los rangos obtenidos en el año anterior (F3). Por el contrario, para el testigo fueron algo mayores.

Fecha 5_. En F5, (marzo, cultivo en etapa vegetativa con baja demanda de nutrientes, 75ddt) respecto a F4, la RAS se mantuvo en el mismo orden de valores, y no presentó diferencia significativa entre sitios (13,7-15) (Tabla 4.11). Como se comentó para esta fecha (punto 4.2.1.2), la salinidad medida en CE tampoco difirió significativamente, lo cual se refleja en una correlación significativa (P 0,01) (r 0,7; CE-RAS).

Los cationes solubles, Na^+ y Mg^{2+} , tampoco presentaron diferencia significativa entre sitios, sin embargo es posible que esto se deba a la elevada variabilidad de los datos (CV 59,3% Na^+ y 75% Mg^{2+}). Así, el Na^+ en el T2 (dren 15cm) con 18,9 me.l^{-1} no se diferenció significativamente del testigo con 38,5 me.l^{-1} . Se destaca, que este catión se correlacionó significativamente con la CE (r 0,99) y la RAS (r 0,95).

Por el contrario, hubo diferencias significativas en las concentraciones de Ca^{2+} (P 0,05). El testigo presentó mayor nivel (12,4 me.l^{-1}) diferenciándose de los tratamientos (entre 2,4-5,9 me.l^{-1}). El nivel de Ca^{2+} se incremento en esta fecha respecto de F4, al igual que sucedió con el Na^+ (26 me.l^{-1} F4 a 38 me.l^{-1} F5). Este comportamiento de incremento de Ca^{2+} y Na^+ en el testigo, aunque en un nivel mas bajo, se produjo en el 2009.

Fecha 6_. En junio (cultivo crecimiento acelerado y alta demanda nutritiva, 165 ddt), se produce un aumento de la RAS respecto de F5, significativo en el testigo (T4) (14 F5 a 19,4 F6) (P 0,05). No hubo diferencia significativa entre sitios.

En fechas anteriores, el aumento de RAS en los tratamientos se asocio en general al Na^+ , mientras que en el testigo a todos los cationes. Este mismo comportamiento se produjo en esta fecha (F6). Así, en T2 (dren 15cm), el incremento de la RAS se debió a un aumento en la concentración de Na^+ (18,9 a 29,6 me.l^{-1}) (r 0,99; Na-RAS), y en el testigo, a la disminución de la concentración de Ca^{2+} (12,4 me.l^{-1} F5 a 7,8 me.l^{-1} F6). La concentración de Na^+ en el testigo fue semejante a F5 (38,5 me.l^{-1}) (Tabla 4.11).

En esta fecha, no hubo correspondencia con la salinidad, la cual como se indicó en el punto 4.2.1.2), disminuyó. Por consiguiente, la correlación entre ambas variables fue baja.

Fecha 7_. Al final del ciclo, suelo sin cultivo, hubo un descenso marcado de la RAS en todos los sitios (rango 9,4-13,6) que se corresponde con una baja salinidad (próxima a 1,4 dS.m^{-1}). Esto se produjo por una disminución generalizada en todos los cationes solubles, debido fundamentalmente a la suspensión del fertirriego.

SUPERFICIAL-2010					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F4	17,5	12,4	15,6	12,6	-
F5	14,0 aA	13,7 aA	15,0 aA	14,0 aA	43,4
F6	16,3 aA	19,6 aA	18,4 aA	19,4 bA	16,5
F7	13,0	9,4	13,6	10,8	-
CV	34,0	37,7	25,7	17,2	
Na^+ (me.l^{-1})					
F4	23,5	22,8 A	28,0	25,8	-
F5	26,1 aA	19,0 aA	29,6 aA	38,5 aA	59,3
F6	26,3 aA	29,6 aA	27,3 aA	38,8 aB	23,2
F7	9,4	9,4 A	12,2	12,5	-
CV	48,5	34,0	45,1	29,9	
Ca^{2+} (me.l^{-1})					
F4	2,8 A	5,3	4,7	6,4	-
F5	4,7 aA	2,4 aA	5,9 aA	12,4 aB	51,3
F6	4,0 aAB	3,4 aA	3,5 aA	7,8 aB	66,7
F7	1,1 A	1,3	1,3 A	1,9	-
CV	51,1	33,1	60,7	55,1	
Mg^{2+} (me.l^{-1})					
F4	0,8	1,5	1,8	2,0	-
F5	1,7 aA	0,7 aA	1,6 aA	1,8 aA	75,0
F6	1,5 aA	0,9 aA	1,0 aA	1,8 aA	56,4
F7	0,8	0,5 A	0,3	0,8	-
CV	55,7	18,7	69,9	73,5	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).
Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.11. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Año 2010. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

En síntesis, que la RAS previo a la plantación del cultivo (enero, F4), partió de una situación más homogénea respecto al inicio del ensayo (F0, 2009), y en el 2010 mantuvo los valores en un rango muy similar y no vario entre sitios durante el desarrollo del cultivo.

Los cationes solubles presentaron una variabilidad muy elevada (CV entre 60-75%) que impidió revelar diferencias estadísticas en los niveles, principalmente de Na^+ y Ca^{2+} que se observaron en el testigo. Hacia el final del ciclo, con el suelo sin cultivo, hubo una disminución general en la concentración de cationes y de RAS, sin mostrar diferencias en ningún caso, atribuido principalmente a la suspensión del fertirriego.

Consecuentemente, hasta la fecha, los drenes y el yeso, si bien impidieron la elevación de la salinidad y sodicidad que se produjo en forma de pulsos en el testigo, no mejoraron la condición general de alta sodicidad respecto a la condición natural.

Análisis Subsuperficial

En la **Tabla 4.12**, se presentan los valores de RAS y de los cationes solubles subsuperficiales (20-40cm), para el año 2010.

Fecha 4_. Al igual que en superficie, inicialmente la RAS no difiere de los valores obtenidos al final del año 2009 (F3), resultando elevada en todos los sitios (entre 14-16). Asimismo, para el Ca^{2+} y el Mg^{2+} las concentraciones fueron similares a las de F3. En el T3 aumento en esta fecha la concentración de Na^+ respecto de F3 (de 15,6 me.l^{-1} a 24,5 me.l^{-1}), mientras que en el resto de los tratamientos y el testigo se mantuvieron semejantes. Las concentraciones de los cationes fueron mayores en el testigo.

Fecha 5_. En marzo (75ddt) la RAS se mantuvo en el mismo orden de valores que en F4 (entre 10,7-14,4), sin diferencia significativa entre sitios. Asimismo, para el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , las concentraciones también se encontraron en el mismo orden de F4, siendo mas elevadas para el testigo con diferencia significativa respecto de los tratamientos (P 0,05). Por el contrario, la concentración de Na^+ se modificó respecto de F4, en el testigo resultó significativamente mayor (32,4 me.l^{-1}) que en los tratamientos (entre 10,6-17,4 me.l^{-1}) (P 0,05) (Tabla 4.12).

Fecha 6_. En F6, (junio, 165ddt) aumenta la RAS en todos los sitios (entre 16-21), sin diferencias significativas respecto de F5, debido posiblemente a la variabilidad de los datos (CV>27%).

Para los tratamientos, este aumento se produjo principalmente por el aumento de las concentraciones de Na^+ (próximos 22 me.l^{-1}), no obstante, al igual que lo observado en F5, se diferenciaron significativamente del testigo (29,7 me.l^{-1}) (P 0,05). Para el testigo, el aumento de la RAS se debió principalmente a la variación en el nivel de Ca^{2+} (4,5 me.l^{-1} F5 a 3 me.l^{-1} F6) y por la disminución significativa en el nivel de Mg^{2+} (1,8 me.l^{-1} F5 a 0,85 me.l^{-1} F6).

Fecha 7_. Hacia el final del ciclo (agosto), al igual que en superficie, se produjo una disminución de las concentraciones de cationes solubles en todos los sitios, que se correspondió con un descenso acentuado en los valores de la RAS respecto a la fecha anterior (rango 9,6-10,3) (Tabla 4.12). Tal como se comentó en superficie, esto se pudo deber a la suspensión del fertirriego.

En síntesis, al igual que en superficie, se inicio el ciclo con valores de RAS mas homogéneos (respecto de F0, año 2009), y semejantes a los obtenidos en F3 (fin de

ciclo 2009). En general, la RAS no se modifico entre fechas y sitios, y sólo se produjeron algunas variaciones durante el ciclo del cultivo.

En los tratamientos estas variaciones se debieron principalmente a las concentraciones de Na^+ . En el testigo por el contrario, si bien mantuvo altos los niveles de Na^+ , incluso con diferencias significativas respecto a los tratamientos, las variaciones en la RAS de debieron principalmente a las modificaciones en las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Sin embargo debido a la elevada variabilidad de los datos (CV 30-50%), no se revelan en todos los casos diferencias estadísticas entre sitios. Hacia el final del ciclo hubo una disminución general en la concentración de cationes y de la RAS, sin mostrar diferencias entre sitios, que se pudo atribuir principalmente al momento de muestreo.

SUBSUPERFICIAL-2010					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F4	14,0	14,6	16,0	15,3	-
F5	10,7 aA	14,4 aA	13,1 aA	13,5 aA	55,2
F6	16,0 aA	19,7 aA	15,7 aA	21,0 aA	29,3
F7	9,6	9,6	10,3	10,1	-
CV	45,7	27,7	51,7	37,9	
Na^+ (me.l⁻¹)					
F4	14,9	21,6	24,4	29,0	-
F5	10,6 aA	17,4 aA	17,4 aA	32,4 aB	49,5
F6	22,0 aA	24,7 aA	18,5 aA	29,7 aB	31,4
F7	8,1	8,6	9,2	11,1	-
CV	57,0	33,8	52,4	26,7	
Ca^{2+} (me.l⁻¹)					
F4	1,4	2,9	3,2	5,0	-
F5	2,2 aA	2,5 aA	2,8 aAB	4,5 aB	52,8
F6	3,2 aA	2,5 aA	2,5 aA	3,0 aA	46,9
F7	1,1	1,1	1,1	1,3	-
CV	39,1	54,0	45,3	53,9	
Mg^{2+} (me.l⁻¹)					
F4	0,8	1,5	1,5	2,2	-
F5	0,8 aA	0,9 aA	0,9 aA	1,8 aB	56,1
F6	1,0 aB	0,7 aAB	0,6 bA	0,9 bAB	39,3
F7	0,3	0,5	0,5	1,1	-
CV	53,9	58,3	21,8	51,5	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.12. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Año 2010. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

4.2.2.3. Año 2011

Tal como se comentó precedentemente (punto 4.2.1.3), previo a efectuar el análisis del presente año, se destaca la ocurrencia de una tormenta durante aproximadamente una semana que provocó la destrucción parcial del techo del invernadero, afectando parte del T3 y T4 (yeso y testigo respectivamente). La precipitación acaecida en esta tormenta fue de 80mm, y se estima que una parte importante de esta pudo tener efecto directo en el suelo de los sitios mencionados.

Análisis Superficial

En la **Tabla 4.13**, se presentan los valores de RAS y cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} superficiales (0-20cm), para el año 2011.

Fecha 8_. Se inicia el ciclo (enero, previo a la plantación) con valores de RAS, en general superiores a los obtenidos en F7 (agosto, 2010), con baja variabilidad entre sitios (entre 10,7-15,7). Del mismo modo, para los cationes solubles, las concentraciones iniciales fueron superiores a las de F7. Sin embargo, a diferencia de la RAS se presentó variabilidad entre sitios. Se destaca los bajos valores de Na^+ y Ca^{2+} en el T2 (dren 15cm) (Na^+ 14 me.l⁻¹ y Ca^{2+} 1,20 me.l⁻¹), respecto del T3 y T4 (próximos a 24 me.l⁻¹ Na^+ y a 7 me.l⁻¹ Ca^{2+}).

Fecha 9_. En marzo, (el cultivo en crecimiento vegetativo e iniciado el reproductivo, baja demanda de nutrientes, 75ddt), los valores de RAS fueron semejantes a los obtenidos en F8 (entre 14-16), sin diferenciarse entre sitios. El nivel de Na^+ también se mantuvo en el mismo orden de valores que en F8, y si bien no hubo diferencia significativa entre sitios, los tratamientos con drenes continuaron teniendo menor valor (próximos a 14 me.l⁻¹) respecto de T3 (25 me.l⁻¹) y del testigo (19,8 me.l⁻¹), la ausencia de significancia se pudo deber a la elevada variabilidad de los datos (CV 59%) (Tabla 4.13)

Por el contrario, la concentración de Ca^{2+} descendió en forma acentuada respecto de F8, principalmente en el T3 y T4 (8 a 4,8 me.l⁻¹ T3; 5,2 a 1,3 me.l⁻¹ T4). No obstante este descenso, el T3 continuó con los mayores valores, diferenciándose de los tratamientos (próximos a 1,5 me.l⁻¹) y del testigo (P 0,05). Si bien, no resulta en un valor elevado de Ca^{2+} soluble, y contrario a lo esperado el nivel de Na^+ se mantuvo elevado (incluso mayor que el testigo), lo cual explica la ausencia de cambios en la RAS.

Cabe destacar, que tal como se analizó respecto a la evolución de la salinidad (punto 4.2.1.3), como consecuencia de las precipitaciones en exceso ocurridas en T3 y T4, hubo una disminución más marcada en estos sitios a la que en general se produjo para esta fecha. Sin embargo, en la RAS no se produjo tal disminución, no obstante, continúan correlacionándose en forma positiva y significativa ambas variables (r 0,8; CE-RAS) para todos los sitios, por lo cual el efecto de dilución salina no fue tan importante.

Fecha 10_. En junio, cultivo con crecimiento acelerado y con alta demanda nutritiva (165 ddt) los valores de la RAS fueron similares a los de F9, y al igual que en la fecha anterior, no hubo diferencias entre sitios (entre 15,7 y 18,5) (Tabla 4.13).

Del mismo modo en los cationes solubles, el nivel se mantuvo en el mismo orden que en F9, sin diferencia significativa entre fechas. El T3, continuo con la mayor concentración de Na^+ (21,3 me.l^{-1}) y Ca^{2+} (2,6 me.l^{-1}) respecto del resto de los sitios (próximos a 16 me.l^{-1} Na^+ y a 1 me.l^{-1} Ca^{2+}), con diferencia significativa (P 0,05) solo para el Ca^{2+} (Tabla 4.13). Tal como se comentó en fecha anterior, este mayor nivel de Ca^{2+} aportado por el yeso no condujo a niveles absolutos de Ca^{2+} elevados ni a mejoras en la alcalinidad.

Fecha 11_. Hacia el final del ensayo (agosto, sin cultivo), la RAS y los cationes solubles se mantuvieron en el mismo orden de valores que en F10. A diferencia de lo sucedido a final del ciclo del 2010 (F7), en donde los niveles descendieron en todos los casos a valores entre 9,4 y 13, sin diferencias entre sitios. En esta fecha se presentaron en un rango más alto (entre 16-19). Posiblemente esto se vincule al momento en que se suspendió el riego en ambos años.

SUPERFICIAL-2011					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F8	14,4	15,7	10,7	13,7	-
F9	14,2 aA	14,7 aA	14,6 aA	16,2 aA	26,7
F10	17,1 bA	16,8 abA	18,5 aA	15,7 aA	24,8
F11	16,3 b	18,7 b	19,6 a	17,2 a	-
CV	8,2	13,4	34,7	29,7	
Na⁺ (me.l⁻¹)					
F8	19,2	14,0	23,6	24,0	-
F9	14,9 aA	14,1 aA	25,0 aA	19,8 aA	58,7
F10	17,9 aA	16,5 aA	21,3 aA	13,9 aA	30,7
F11	14,1 a	17,2 a	19,6 a	18,0 a	-
CV	14,7	15,3	46,4	46,9	
Ca²⁺ (me.l⁻¹)					
F8	2,4	1,2	8,0	5,2	-
F9	1,6 aA	1,5 aA	4,8 aB	1,3 aA	97,1
F10	1,6 aA	1,5 aA	2,6 aB	1,2 aA	32,2
F11	0,8 b	1,1 a	1,4 a	1,4 a	-
CV	30,9	31,3	87,1	51,1	
Mg²⁺ (me.l⁻¹)					
F8	1,1	2,2	1,6	0,9	-
F9	0,6 aA	0,5 aB	1,2 aB	0,5 aAB	66,0
F10	0,7 aA	0,6 aA	0,6 aA	0,5 aA	23,7
F11	0,7 a	0,6 a	0,6 a	0,8 b	-
CV	18,0	25,2	64,7	24,3	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).
Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.13. Evolución superficial (0-20cm) de la RAS y los cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Año 2011. Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

En síntesis, se aprecia entonces que durante el año 2011 los tratamientos y el testigo tuvieron un comportamiento semejante durante todo el ciclo del cultivo de pimiento (enero-agosto 2011), con una sodicidad en general alta, sin presentarse diferencias significativas por el agua de lluvia recibida en los T3 y T4.

Los tratamientos con drenes (T1 y T2) tuvieron en general los menores niveles de Na^+ con un comportamiento similar entre fechas, por el contrario el T3 (yeso), se mantuvo siempre en niveles más altos. El testigo fue el que presentó mayor variabilidad entre fechas diferenciándose en algunas de los tratamientos con drenes y en otras del tratamiento con yeso.

Respecto al Ca^{2+} si bien en el T3 se presentaron las mayores concentraciones, en ningún caso resultan elevadas como para haber afectado los niveles de RAS. Asimismo, en el T3, los niveles Na^+ fueron siempre mayores. Consecuentemente la RAS no se vio afectada por las concentraciones de ambos cationes. El yeso fue agregado en F8 (enero) sin aumentar el contenido de Ca^{2+} soluble (8,0 me.l^{-1} F8 a 4,80 me.l^{-1} F9, marzo). Esto coincide con lo analizado en el 2009, el agregado de yeso en F0 (enero 2009), no condujo en F1 (marzo 2009) a un aumento de Ca^{2+} (7,5 me.l^{-1} F0 a 6,8 me.l^{-1} F1). En fechas siguientes de 2009, al igual que en 2011, luego del agregado de yeso, continuó disminuyendo el nivel de Ca^{2+} .

Análisis subsuperficial

En la **Tabla 4.14**, se presentan los valores de la RAS y de los cationes solubles Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} subsuperficiales (20-40cm), para el año 2011.

Fecha 8_. Al inicio (F8, enero), al igual que lo observado en superficie, la RAS fue muy similar entre sitios (12-13,6), y superior a F7 (agosto 2010). Este aumento se corresponde con el incremento en los valores de Na^+ (13-16,3 me.l^{-1}), respecto a los obtenidos en F7 (próximos a 10 me.l^{-1}).

Los niveles de los cationes solubles fueron similares entre sitios. Por el contrario, en superficie presentaron mayor variabilidad.

Fecha 9_. En marzo, (75ddt) los valores de RAS (entre 12,7-15,6) y cationes solubles fueron semejantes a los obtenidos en F8, y no hubo diferencia significativas entre sitios (Tabla 4.14).

Fecha 10_. En F10 (junio, 165 ddt), la RAS respecto a F9, aumentó significativamente (P 0,05) sólo en el T3 (12,7 a 16,6), si bien esto no se produjo en los cationes los cuales no presentaron diferencias significativas entre fechas. No hubo diferencia significativa entre sitios ni en los valores de RAS (entre 12,7-16,6) ni en las concentraciones de los cationes solubles.

Fecha 11_. En agosto, al final del ciclo, en el T1 (dren 10cm) y en el T3 (yeso) la RAS disminuye significativamente (P 0,05) respecto a fecha anterior (F10) (14,9 a 11 T1 y 16,6 a 13,5 T3). Sin embargo, no varió entre sitios para esta fecha (11-14) (Tabla 4.14).

El descenso de la RAS en el T1, a pesar de la disminución significativa que se produce en el nivel de Ca^{2+} (1,6 a 0,8 me.l^{-1}), se explica por una mayor disminución del Na^+ (15,7 a 9,5 me.l^{-1}). En los tratamientos restantes (T2 y T3), la disminución de ambos no fue significativa. Por el contrario, en F11, el testigo presentó los mayores niveles de Na^+ y Ca^{2+} (Tabla 4.14).

SUBSUPERFICIAL-2011					
RAS	T1	T2	T3	T4	CV
F8	12,3	13,6	12,0	12,0	-
F9	15,0 aA	13,8 aA	12,7 aA	15,6 aA	17,7
F10	14,9 aA	14,1 aA	16,6 bA	12,7 aA	24,7
F11	11,0 b	14,0 a	13,5 a	13,9 a	-
CV	17,9	22,8	12,6	17,7	
Na⁺ (me.Γ¹)					
F8	13,4	13,0	16,3	15,0	-
F9	11,9 abA	12,7 aA	15,0 aA	12,7 aA	30,7
F10	15,7 bA	14,4 aA	16,1 aA	12,9 aA	26,2
F11	9,5 a	12,5 a	11,7 a	14,9 a	-
CV	19,8	27,8	23,3	21,3	
Ca²⁺ (me.Γ¹)					
F8	1,5	1,5	2,8	2,3	-
F9	1,1 abA	1,3 aA	2,1 aA	1,8 aA	81,5
F10	1,6 aA	1,6 aA	1,5 abA	1,5 aA	34,5
F11	0,8 b	1,1 a	0,8 b	1,7 a	-
CV	38,3	35,9	45,5	68,3	
Mg²⁺ (me.Γ¹)					
F8	0,9	0,4	0,9	0,9	-
F9	0,5 aA	0,5 aA	0,8 aB	0,4 aA	29,1
F10	0,7 aA	0,6 bA	0,6 aA	0,7 bA	26,4
F11	0,6 a	0,5 a	0,7 a	0,6 ab	-
CV	23,3	12,4	14,0	32,0	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.14. Evolución subsuperficial (20-40cm) de la RAS y los cationes solubles Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺. Año 2011. Comparación entre tratamientos y fechas de muestreo.

En síntesis, los niveles de RAS fueron semejantes entre sitios y fechas de muestreo, tal como se indicó para superficie. La sodicidad fue elevada (RAS mayor a 12). Al igual que en superficie, no se observó el efecto del agua de lluvia ocurrida en los T3 y T4.

Por el contrario a lo analizado en superficie, los cationes solubles subsuperficialmente tampoco presentaron diferencia entre sitios, y en general los valores finales fueron menores a los iniciales (F0), aunque este efecto se pudo deber más al momento de muestreo (como en F7, año 2010) que al efecto de los tratamientos.

4.2.3. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Relación entre RAS-PSI, cationes solubles e intercambiables

En la **Tabla 4.15** se presentan los valores del PSI superficial (0-20cm), y subsuperficial (20-40cm). Esta determinación se realizó en las muestras compuestas tomadas al inicio y al final del ciclo productivo, por año de evaluación, tal como se indica en materiales y métodos. Se analizó además la participación de los cationes intercambiables y como estos se vinculan con los cationes solubles, estableciéndose así las relaciones entre la RAS y el PSI. Gráficamente esta tabla se representa en la Figura 8.2 (anexo). En la Tabla 8.3 (anexo) se presentan los valores de los cationes intercambiables (Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺), y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

En superficie, se observan variaciones de PSI entre tratamientos y entre estos con el testigo, desde el inicio (enero 2009, F0) hasta final del estudio (agosto 2011, F11), atribuyéndose las variaciones al tratamiento implementado (Tabla 4.15) tal como se analiza en punto siguiente. En la Figura 8.2 (anexo), se aprecian estas variaciones.

Subsuperficialmente (Tabla 4.15), en general, el comportamiento fue similar entre sitios, produciéndose en todos los casos un descenso hacia F7 (agosto 2010), y un aumento al final del ensayo (F11).

Se aprecia entonces, que en superficie en el PSI sólo hubo un descenso significativo (respecto del inicio) en el dren de mayor diámetro (T2). En los otros sitios, el PSI se mantuvo entre el inicio y el final en el mismo orden de valores. Se destaca la mayor sodicidad que se observa al inicio en el T2, y al descender toma valores próximos a los restantes sitios. Al final del ensayo los valores en todos los sitios, estuvieron por encima de los niveles que a priori se estiman adecuados para una buena permeabilidad, aspecto que se analiza al describir la conductividad hidráulica (punto 4.4).

	PSI							
	T1		T2		T3		T4	
	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.
F0	27,9	22,2	47,9	31	28,6	27,5	32,6	24,2
F3	28,4	s/d	28,6	s/d	27,4	s/d	28,6	s/d
F4	27,4	25	21	24,3	26,3	29	14,7	27,6
F7	20,0	22,3	25,0	18,7	31,0	20,9	22,8	20,9
F8	27,2	24,1	32,4	31,5	28,5	25	32,9	30,6
F11	34,5	24,6	25,7	26,8	24,6	21,6	28,5	26,8

Tabla 4.15. PSI (%) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), comparación entre sitios y fechas de muestreo. Periodo enero 2009-agosto 2011.

4.2.3.1. Análisis detallado por año.

A continuación se comparan los resultados entre años de evaluación y la relación con la RAS.

Año 2009_ . Análisis superficial

Fecha 0_. Al inicio del año 2009, previo a la instalación de los tratamientos (F0, enero), al igual que en la RAS, el sitio donde luego se instaló el T2 (dren de mayor diámetro), presentó una condición de elevada sodicidad (PSI 48%; RAS 31,6), que no se observó en los restantes sitios (PSI próximos 29%) (Tabla 4.15). Por el contrario, en la RAS hubo una alta variabilidad (entre 13-24,7) (Tabla 4.9).

El T2 tuvo un nivel elevado de Na^+ intercambiable ($9,1 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) respecto del resto de los tratamientos ($5,3\text{-}6,1 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) y el testigo ($7,5 \text{ cmolc.kg}^{-1}$). Esto se reflejó también en los niveles de Na^+ soluble, pero con una mayor amplitud ($76,4 \text{ me.l}^{-1}$ T2; resto próximos a 37 me.l^{-1}).

Fecha 3_. Hacia final del ciclo (agosto) ya sin cultivo y sin fertirriego, el T2 respecto de F0, disminuyó significativamente su PSI (29%), sin diferenciarse del resto de los sitios (PSI próximos a 28%). Esto es coincidente con lo comentado para la RAS, en donde el T2 disminuye significativamente entre ambas fechas, aunque por el contrario, hubo diferencia entre sitios. Esto se debió principalmente a diferencias en el Na⁺ soluble (entre 18 y 31,5 me.l⁻¹), situación que no se produce con el Na⁺ intercambiable (entre 5,1 y 5,6 cmolc.kg⁻¹).

***Año 2009_.* Análisis subsuperficial**

Fecha 0_. La variabilidad entre sitios fue mayor que en superficie. Si bien el T2 continua presentando mayor sodicidad que el resto de los sitios (PSI 31%), el T1 se destaca por tener un menor valor respecto al resto (PSI 22,2%). En la RAS, por el contrario la variabilidad fue menor y con menor amplitud de valores entre los tratamientos con drenes (15,7 T1; 20,6 T2).

Al igual que en superficie, el T2 presentó el mayor nivel de Na⁺ intercambiable (6,2 cmolc.kg⁻¹) y soluble (40,7 me.l⁻¹). Sin embargo, subsuperficialmente el Na⁺ intercambiable presentó una mayor homogeneidad entre sitios (próximo a 5,5 cmolc.kg⁻¹) situación diferente a lo comentado para el Na⁺ soluble. El Na⁺ soluble difiere en T2 del resto de los sitios (próximos a 23 me.l⁻¹) con mayor concentración (punto 4.2.2.1).

En síntesis, el PSI y los cationes intercambiables permitieron mostrar al igual que la RAS y cationes solubles, las diferencias entre sitios de las cuales se parte, tendiendo al final del año 2009 hacia una homogenización general. Por ambos procedimientos, PSI-RAS, se aprecia que el sitio correspondiente a T2, parte de una situación manifiestamente más sódica, disminuyendo hacia el final del ciclo. Se observa sin embargo, que los cationes intercambiables presentaron en general menor amplitud que los cationes solubles.

***Año 2010_.* Análisis superficial**

Fecha 4_. Al inicio de segundo ciclo (enero, previo a la plantación) el PSI disminuyó en todos los casos respecto de F3 (agosto, 2009), siendo esta disminución acentuada para el T2 y el testigo (25% T2; 50% T4) (Tabla 4.15). Por el contrario, la RAS en esta fecha parte de una situación más homogénea respecto al inicio del ensayo (F0), y no difiere marcadamente de los valores obtenidos al final del año 2009 (F3).

Asimismo, respecto de F3, el Na⁺ intercambiable para el T2 disminuye de 5,6 a 4,4 cmolc.kg⁻¹ y de 5,4 a 2,8 cmolc.kg⁻¹ para el testigo, para el resto de los tratamientos se mantuvo en el mismo orden de valores (próximos a 5 cmolc.kg⁻¹). Esta disminución también se produjo en el Na⁺ soluble, sin embargo el resto de los tratamientos (T1 y T3) aumentaron su nivel respecto de F3.

Fecha 7_. En agosto, al finalizar el ciclo del cultivo, la variabilidad entre sitios para el PSI continúa siendo elevada (PSI entre 20% y 31%). Respecto de F4, el T1 disminuyó significativamente de 27,4 a 20%, mientras que el resto de los tratamientos se mantuvo en el mismo orden de valores. Por el contrario, el testigo aumento de 14,7 a 22,8 %. La RAS no se comportó de igual modo, para esta fecha como se analizó precedentemente

(punto 4.2.2.2), hubo una disminución generalizada y si bien presento variabilidad entre sitios (9,4-13,6) la amplitud entre valores fue menor que el PSI. Asimismo, el Na^+ soluble disminuyó en todos los sitios, mientras que el intercambiable no lo hizo, y la variabilidad entre sitios no fue tan marcada (Tabla 4.11).

Año 2010_ .Análisis subsuperficial

Fecha 4_. Al inicio, la variabilidad entre sitios fue baja con un rango de valores entre 24,3-29 % (Tabla 4.13). En la RAS se presentó un comportamiento similar con valores muy semejantes (14-16) (Tabla 4.12). Respecto a los valores superficiales, se destaca un incremento marcado en el testigo en el PSI (Tabla 4.15) aunque no se produjo en la RAS.

Coincidentemente, los valores de Na^+ intercambiable no difieren entre sí (próximos a 5 cmolc.kg^{-1}), aunque si hubo una diferencia en el Na^+ soluble en el T1, tal como se analizó en punto 4.2.2.2.

Fecha 7_. En agosto, al final del ciclo productivo, el PSI continua teniendo baja variabilidad entre sitios (PSI entre 18,7% y 22,3%). Contrario a lo sucedido en superficie, los valores descienden (respecto de F4) en todos los casos. La RAS se comportó de manera similar al PSI, presentando un descenso generalizado en los valores.

El Na^+ intercambiable se mantuvo en el mismo rango de valores que F4, próximos a 5 cmolc.kg^{-1} para todos los sitios. Por el contrario, en los niveles de Na^+ soluble se produjo un descenso significativo y semejante entre sitios (punto 4.2.2.2).

En síntesis, se aprecia, para el año 2010, que no siempre se observó una tendencia definida respecto al efecto de los tratamientos y el testigo sobre la sodicidad en superficie, sea esta medida por PSI o por la RAS. Sin embargo, en algunas fechas, tal como se analizó detenidamente en punto 4.2.2.2 la RAS y cationes solubles permiten mostrar algunos efectos de los tratamientos más claramente.

Por el contrario, subsuperficialmente el PSI y la RAS se comportaron de manera similar, mostrando un efecto generalizado de disminución de sodicidad en el 2010. Sin embargo, se observó mayor variabilidad en los niveles de los cationes solubles que no se reflejó en los intercambiables.

Año 2011_ . Análisis superficial

Fecha 8_. Al inicio (enero), previo a la plantación del cultivo, se parte de una situación homogénea entre sitios (PSI entre 27,2% y 32,9%), aumentando respecto de F7 en los tratamientos y el testigo marcadamente. Así por ejemplo, en el T2 aumenta de 25% a 32,4% (Tabla 4.15). Esto fue semejante con la RAS, que aumenta hacia esta fecha aunque de manera menos marcada manteniéndose los valores próximos entre sí en F8.

Los aumentos en PSI y RAS, se asocian a aumentos de Na^+ intercambiable y soluble, si bien en el Na^+ soluble se observaron diferencias (punto 4.2.2.3) que no se manifestaron en los intercambiables. Los niveles de Na^+ no difieren entre sitios (5,8-6,9 cmolc.kg^{-1}).

Fecha 11_. En agosto, al finalizar el ensayo, la variabilidad entre sitios fue mayor (PSI entre 24,6% y 34,5%), con una disminución respecto del inicio del ciclo (F8) del PSI en todos los casos, excepto para el T1 que aumentó (Tabla 4.15). Por el contrario, la RAS presentó mayor homogeneidad entre sitios (16,3-19,6) y un aumento en todos los casos.

La diferencia en el comportamiento del PSI entre sitios, se corresponde con el Na^+ intercambiable. Así en T1 aumenta de 5,8 cmolc.kg^{-1} en F7 a 6,6 cmolc.kg^{-1} en F11, mientras que en el resto de los sitios descendieron a valores próximos a 5 cmolc.kg^{-1} . Esta diferencia no se visualiza en el nivel de Na^+ soluble en donde, por el contrario el T1 presentó un comportamiento inverso (punto 4.2.2.2).

***Año 2011_.* Análisis subsuperficial**

Fecha 8_. Al inicio (enero), de igual manera que en superficie los valores de PSI aumentaron respecto de F7, para todos los sitios, presentando mayor amplitud entre los mismos (PSI entre 24,1% y 31,5%). Esto es coincidente con la RAS, semejantes entre sitios (12-13,6), y superior a F7. Sin embargo, este aumento de la RAS se debió al incremento en Na^+ soluble, mientras que en el Na^+ intercambiable los incrementos se producen en forma variable en el T2 y en el testigo (Tabla 4.15).

Fecha 11_. En agosto, al finalizar el ensayo, se mantuvo la variabilidad entre sitios (PSI entre 21,6% y 26,8%), y contrario a lo sucedido en superficie los PSI se mantuvieron en el mismo orden que F7. La RAS se comportó de manera similar. Respecto a los niveles de Na^+ intercambiable para esta fecha se produjo un ligero descenso en todos los sitios al igual para el Na^+ soluble (punto 4.2.2.3).

En síntesis, no se aprecia una tendencia clara del efecto de los tratamientos en el PSI como así tampoco en los cationes intercambiables. Esto si bien es lo que sucede con la RAS y cationes solubles, estos por el contrario permiten establecer ciertas tendencias. La RAS y el PSI se comportaron en forma semejante solo en F8. Al igual que en año anterior, sólo en algunas ocasiones se corresponde lo observado entre los valores de PSI con los RAS, al igual que entre cationes intercambiables y solubles.

Subsuperficialmente, los valores de PSI en 2011 en general aumentaron respecto del 2010. Durante el 2011 no se observaron diferencias importantes entre inicio y final del ciclo. El PSI y la RAS se comportaron en general de manera similar.

4.2.3.2. Correlaciones entre las variables

PSI superficial vs subsuperficial_. La correlación entre ambas profundidades no fue significativa en ningún caso. Se destaca sin embargo, que el T2 presentó el mayor nivel (r 0,67) respecto del resto de los sitios. Este tratamiento es el que partió de una situación de mayor sodicidad.

Na^+ intercambiable vs PSI_. Como era previsible, la correlación entre ambas variables en superficie fue elevada y significativa para todos los sitios ($r > 0,90$). Sin embargo subsuperficialmente solo se encontró elevada correlación (r 0,97 P 0,01) en el T2, para el resto de los tratamientos y el testigo la correlación fue menor (r 0,82-0,86 T1-T3; r 0,69 T4). Esto se pudo deber a que es posible que las mediciones de cationes

intercambiables y CIC, presenten algunas inconsistencias en suelos con tan alta salinidad y alcalinidad; y elevado contenido de arcillas (con alta proporción de expansivas).

PSI vs RAS_s. En superficie la correlación fue mayor en el T2 y T3, aunque la misma no fue significativa (r 0,73-0,76), y subsuperficialmente sólo hubo correlación elevada y significativa en el T2 (r 0,89; P 0,05) (Tabla 8.4 anexo). Al igual que lo indicado en el punto anterior, esta falta de correlación en el resto de los tratamientos y en el testigo se pudo deber a la naturaleza coloidal de los suelos, que conduzcan a equilibrios entre cationes intercambiables y solubles diferente a lo indicado para otros suelos, así como, procedimiento de análisis. Otros autores también encuentran relaciones variables entre ambas mediciones (Crescimano y Iovino 1995).

En conclusión, se observó en superficie, que la RAS y el PSI no siempre presentaron un comportamiento similar, no pudiendo establecerse una tendencia clara en el comportamiento de los tratamientos y el testigo. Sin embargo, la RAS y los cationes solubles permitieron mostrar algunos efectos más claramente. Así, por ejemplo en la evolución del Na^+ soluble se presentaron diferencias entre sitios que no se observaron en el Na^+ intercambiable.

Subsuperficialmente, la RAS y el PSI se comportaron en general en forma similar, aunque esto no se reflejó en el coeficiente de correlación entre ambas variables. Los cationes solubles, al igual que en superficie, mostraron mayor amplitud de valores, aunque menos acentuada.

Puede entonces concluirse que para estos sistemas productivos (intensivos), con suelos que presentan elevado contenido de arcilla expandibles, que la medición de la RAS y de los cationes solubles resulta adecuada para visualizar los cambios que se producen en poco tiempo, resultando innecesario y costoso el seguimiento por medio del PSI y cationes intercambiables ya que estos últimos no llegan a reflejar los cambios que se producen en el suelo.

4.2.4. Reacción del suelo, pH

4.2.4.1. Año 2009

En la **Tabla 4.16** se presentan los valores de pH superficiales (0-20cm) y subsuperficiales (20-40cm) para el año 2009. Los valores que se consignan en cada fecha corresponden a los promedios por fecha y tratamiento, excepto para la F0, tal como se explica en materiales y métodos. En la Figura 8.6 (anexo) se representan gráficamente.

Análisis superficial

Fecha 0_s. Previo a la instalación de los tratamientos (F0, enero 2009), se parte de una situación generalizada de alcalinidad en todo el invernáculo, con un promedio de 7,9 con excepción del sitio donde posteriormente se instaló el T1 (dren 10) con pH 7,5.

Fecha 1_s. En F1 (marzo, cultivo en plena etapa de crecimiento vegetativo, con baja tasa de absorción de nutrientes, 75 ddt), disminuye significativamente (P 0,05) el nivel de

pH en todos los casos. Los valores para los tratamientos estuvieron cercanos a la neutralidad (7,02-7,17) y se diferenciaron del testigo (7,49) (Tabla 4.16). Esta disminución del pH, puede estar asociada al comienzo de la fertilización. Debido a que durante la misma se adicionó al suelo ácido fosfórico (240 lts.ha⁻¹; pH <1), y nitrato de calcio (pH 5,87) y de potasio (pH 7,02). En esta fecha el pH se correlacionó significativamente (P 0,01) con la salinidad.

Fecha 2_. En junio (F2, 165 ddt), donde por el contrario, el cultivo presentaba un crecimiento acelerado (hojas, frutos jóvenes y llenado de frutos) y consecuentemente con mayor absorción de nutrientes, en general el pH se mantuvo en el mismo orden de valores que en F1 para todos los sitios, sin diferencia significativa entre los mismos.

Fecha 3_. En agosto (F3, final del ciclo productivo, sin cultivo) el pH continuó con valores semejantes a los obtenidos en F2. Sin embargo, el T1 estadísticamente se diferenció del T3 y T4 (P 0,05).

El cultivo de pimiento tiene como intervalo óptimo de pH un valor de 5,5 a 6,5 (Porta et al.1994). Durante todo el ciclo productivo del año 2009 los valores de pH del suelo estuvieron por encima de este rango, consecuentemente se pudo ver afectada la producción del cultivo. El T1, sin embargo fue el tratamiento que estuvo más cerca de los valores óptimos.

En síntesis, hubo un descenso en todos los sitios, hacia el final del ciclo en aproximadamente 0,6 unidades de pH. Si bien se presentaron diferencias significativas a favor de los tratamientos respecto al testigo en algunas fechas, en valores absolutos y en términos agronómicos, no resultaría tan marcada. El pH del suelo en todos los casos resulta superior al óptimo del cultivo, la amplitud máxima es de hasta una unidad de pH.

Análisis subsuperficial

Fecha 0_. El nivel de pH es superior al superficial, la alcalinidad es generalizada para todo el sitio de estudio. Al igual que lo indicado en superficie, el sector donde se instaló el T1, presentó el menor nivel de pH (8,20), respecto de los otros sitios (próximos a 8,70) (Tabla 4.16).

Fecha 1_. En F1 (marzo, 75 ddt), el pH disminuyó significativamente en todos los sitios (P 0,01) entre 1,2 y 1,5 unidades de pH. Los tratamientos no se diferenciaron entre sí y sólo el T1 con un valor de 7,04 se diferenció significativamente del testigo (7,34).

Fecha 2_. En F2, el T1 aumenta el pH en forma significativa (P 0,05), no obstante no se diferencia del resto de los sitios, que mantuvieron los valores en el mismo orden de F1, próximos a 7,30.

Fecha 3_. Al final del ciclo (agosto), el pH estuvo en el mismo orden que F2, y si bien estadísticamente se presentaron diferencias entre sitios la amplitud de valores fue muy estrecha encontrándose en un rango de 7,06-7,47 (Tabla 4.16).

En síntesis, al igual que lo observado en superficie, el pH baja inicialmente entre 1,2 y 1,5 unidades de pH y luego, aunque se presentaron diferencias estadísticas en algunas fechas, se mantuvo en el mismo orden de valores entre sitios y fechas de muestreo.

pH 2009					
SUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F0	7,50 a	7,90 a	8,10 a	8,06 a	-
F1	7,02 bA	7,10 bA	7,17 bA	7,49 bB	2,04
F2	7,14 bA	7,32 cA	7,34 bcA	7,30 bA	2,75
F3	7,04 bA	7,36 cAB	7,43 cB	7,41 bB	3,72
CV	3,16	2,05	2,16	2,50	
SUBSUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F0	8,20 a	8,60 a	8,60 a	8,80 a	-
F1	7,04 bA	7,26 bAB	7,27 bAB	7,34 bB	2,88
F2	7,28 cA	7,26 bA	7,42 bA	7,24 bA	3,48
F3	7,21 bcAB	7,47 cB	7,06 bA	7,41 bAB	2,80
CV	1,87	1,65	3,29	2,59	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 4.16. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2009.

4.2.4.2. Año 2010

En la **Tabla 4.17** se presentan los valores promedios de pH en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm) por fecha y tratamiento en el año 2010, y en la Figura 8.7 (anexo) se representan gráficamente.

Análisis superficial

Fecha 4_. El pH inicial, antes del trasplante, es mayor respecto a F3 (final 2009), en aproximadamente 0,7 unidades de pH. Consecuentemente, hay un nivel general de elevada alcalinidad que no difiere entre sitios, siendo algo menor en el T1 al igual que lo señalado para 2009.

Fecha 5_. Hacia F5 (marzo, 75 ddt), al igual que lo sucedido en el año 2009 (F1) el pH disminuyó significativamente en todos los sitios, entre 0,4 y 0,7 unidades de pH, sin diferencias entre sitios.

Fecha 6_. En junio (F6, cultivo con crecimiento acelerado y mayor demanda) el pH se encuentra en el mismo orden de valores que F5, si bien estadísticamente hubo diferencia significativa en el T3 (0,3 unidades de pH) (P 0,05). No hubo diferencia entre sitios.

Fecha 7_. Al final del ciclo, con el suelo sin cultivo, el pH aumenta significativamente en todos los sitios, siendo superior a 8, y no se diferencia de los valores medidos al inicio del ciclo (F4). Esto es diferente a lo señalado en el 2009. Consecuentemente, el descenso que se observó en algunas variables al año de iniciados los ensayos no se observó en el pH (Tabla 4.17). En la Figura 8.7 (anexo) se aprecia la homogeneidad de datos dentro de cada fecha y el ligero aumento generalizado hacia el final del ciclo.

En síntesis, se parte de una situación generalizada de alcalinidad, mayor que al final del ciclo anterior disminuyendo cuando comienza el cultivo y se fertirriega. Sin embargo, a diferencia del 2009, hacia el final del ciclo se incrementa nuevamente. Posiblemente

esto se deba al tiempo transcurrido desde que se dejó de fertirrigar y el momento del muestreo. No hubo un efecto de los tratamientos respecto al testigo, en todos al final del ciclo los valores resultaron muy elevados, próximos a 8,4.

Análisis subsuperficial

Fecha 4_. El pH inicial, antes del trasplante, al igual que lo señalado en superficie, es mayor respecto a F3 (final 2009). Consecuentemente, hubo una elevada alcalinidad en todo el sitio de estudio. Los valores superficiales y subsuperficiales fueron muy similares.

Fecha 5_. En marzo (75 ddt), el pH disminuyó significativamente en todos los sitios, llegando a valores próximos a 7,40 sin diferencia entre sitios. La disminución manifestada es coincidente con lo reportado en superficie y en el 2009.

Fecha 6_. En junio, el pH se encuentra en el mismo orden de valores que F5, sin diferencia significativa entre sitios.

Fecha 7_. Al final del ciclo, el pH aumenta significativamente en todos los sitios, para los tratamientos el pH estuvo próximo a 8,10 y para el testigo fue algo más elevado (8,46). Respecto de F0, para el T2 y el T3 los valores fueron similares, por el contrario para el T1 y el T4 fueron superiores en 0,5-0,7 unidades de pH.

pH 2010					
SUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F4	7,75	8,19	8,17	7,83	-
F5	7,36 aA	7,33 aA	7,35 aA	7,42 aA	2,03
F6	7,46 aA	7,48 aA	7,63 bA	7,61 aA	1,32
F7	8,37	8,53	8,54	8,54	-
CV	1,52	1,67	1,43	2,63	
SUBSUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F4	7,68	8,08	8,00	7,79	-
F5	7,37 aA	7,37 aA	7,29 aA	7,39 aA	2,47
F6	7,03 aA	7,40 aA	7,10 aA	7,14 aA	4,02
F7	8,16	8,16	8,09	8,41	-
CV	3,63	2,83	3,57	3,55	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).
Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.17. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm) de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2010.

En síntesis, el comportamiento del pH subsuperficial fue similar al superficial. Se inicio el ciclo con una alcalinidad generalizada. Durante el desarrollo del cultivo se produjo un descenso del nivel, con valores similares para todos los sitios, y al final del ciclo productivo hubo un incremento que puede estar asociado al momento de muestreo.

4.2.4.3. Año 2011

En la **Tabla 4.18** se presentan los valores promedios por fecha y tratamiento, del pH en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm), del año 2011, y en la Figura 8.8 (anexo) se representan gráficamente.

Análisis superficial

Fecha 8_. Al igual que lo observado en años anteriores, el pH inicial antes del trasplante fue superior al nivel final del año precedente (F7), encontrándose en F8 próximos a 8,5 para todos los sitios.

Fecha 9_. En marzo (75 ddt), el pH disminuyó significativamente en todos los sitios (próximos a 7,6), sin diferencias entre sí. Esto fue similar a lo observado en los años anteriores.

Fecha 10_. En junio (165 ddt), el pH se mantuvo en el mismo orden de valores que F9 sin diferencias entre sitios.

Fecha 11_. En agosto (finalización del ensayo), el pH aumentó significativamente (P 0,01) en aproximadamente una unidad de pH respecto de F10 para todos los sitios (próximos a 8,5). Por consiguiente, al igual que en los años precedentes hubo una situación generalizada de alcalinidad.

En la Figura 8.8 (anexo) se presenta la evolución del pH durante el 2011, el mismo presentó un comportamiento similar entre sitios, con un aumento generalizado hacia el final del ciclo.

En síntesis, la evolución del pH durante 2011 fue similar a la observada en 2010. Durante el desarrollo del cultivo el nivel de pH baja significativamente debido al consumo de nutrientes y fertirriego, y finalizado el cultivo aumenta significativamente, retomando los niveles iniciales. No hubo efecto de tratamientos respecto al testigo.

Análisis subsuperficial

Fecha 8_. Al igual que lo observado en superficie, la alcalinidad fue generalizada. El nivel de pH inicial (antes del trasplante) fue elevado con valores semejantes a los superficiales (próximos a 8,5).

Fecha 9_. El pH disminuyó significativamente para todos los sitios. En el T1 el pH se diferenció del resto de los sitios significativamente (P 0,05), si bien en valores absolutos y agrónomicamente la diferencia fue solo de 0,2 unidades de pH (7,3 vs 7,5) (Tabla 4.18).

Fecha 10_. En junio (165 ddt), el pH aumentó significativamente para el T1 y T3, mientras que para el resto de los sitios se mantuvo en el mismo orden de valores que en F9. Sin embargo, no se presentó diferencia significativa entre sitios.

Fecha 11. En agosto (final del ensayo), el nivel de pH aumento significativamente (P 0,01). El T1 presentó el menor valor (pH 8) respecto del resto (próximos a 8,6).

pH 2011					
SUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F8	8,47	8,77	8,41	8,56	-
F9	7,51 aA	7,59 aA	7,61 aA	7,62 aA	2,30
F10	7,55 aA	7,66 aA	7,54 aA	7,70 aA	2,40
F11	8,17 b	8,80 b	8,50 b	8,57 b	-
CV	2,08	2,22	2,20	2,34	
SUBSUPERFICIAL					
	T1	T2	T3	T4	CV
F8	8,50	8,58	8,42	8,57	-
F9	7,30 aA	7,59 aBC	7,42 aAB	7,69 aC	1,82
F10	7,68 bA	7,64 aA	7,70 bA	7,66 aA	2,24
F11	8,05 c	8,63 b	8,50 c	8,78 b	-
CV	1,64	1,51	2,01	1,01	

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).
Letras iguales minúsculas entre fechas no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 4.18. Valores de pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), de los tratamientos y el testigo, en cuatro fechas de muestreo, año 2011.

En síntesis, el comportamiento fue similar al superficial, durante el ciclo del cultivo descende el nivel de pH, y aumenta al finalizar el ciclo, sin cultivo. A diferencia de lo observado en superficie, hubo diferencia estadística entre sitios, durante el desarrollo del cultivo si bien en valores absolutos las diferencias fueron bajas. No hubo correlación estadística entre los valores de superficie y los subsuperficiales.

En conclusión, se observó un comportamiento similar en todos los años evaluados. Tanto en superficie como a mayor profundidad, inicialmente los valores de pH fueron elevados con una alcalinidad general en todo el sitio de estudio. Durante el desarrollo del cultivo (marzo y junio) el pH disminuyó significativamente, debido principalmente al consumo de nutrientes y la fertilización; y al final del ciclo retomó a los niveles iniciales. Si bien, hubo en algunas fechas diferencia entre sitios las mismas no fueron agrónomicamente significativas.

Por consiguiente, la aplicación de los fertilizantes provocó en descenso del pH, no obstante los niveles obtenidos con este descenso no llegaron a estar en el rango óptimo para el crecimiento del cultivo (Nuez et al. 1996). Asimismo el agregado de ácido fosfórico en forma continua provocó que el nivel del fósforo se encuentre en concentraciones excesivas, mayores a 150 ppm (esto será analizado en el punto 4.3.3).

4.3. Propiedades químicas del suelo

4.3.1. Disponibilidad de cationes solubles y su efecto en la nutrición del cultivo

La implementación de drenes, tal como se analiza en puntos anteriores, condujo a una disminución de la salinidad, mientras que en el testigo se mantuvieron los pulsos salinos característicos de estos sistemas productivos. Dicha salinidad se asocia en algunas

ocasiones a una mayor proporción de cationes solubles, entre ellos el Ca^{2+} (punto 4.2.2). Sin embargo, en los intercambiables no se encontraron diferencias entre sitios.

Cabe analizar si es posible que la menor salinidad, con menor proporción de cationes solubles genere en los tratamientos con drenes deficiencias de algún nutriente, tal como el Blossom end rot (Marcelis y Ho 1999; De Pascale et al. 2003; Bart-Tal y Aloni 2005).

A continuación se comparan las concentraciones de cationes solubles con las que frecuentemente se presentan en la región sin ocurrencia de desórdenes fisiológicos. Se destaca que en punto 4.2.3 relativo al efecto de los tratamientos sobre la RAS-PSI, se efectuó un análisis sobre las concentraciones de los cationes que definen ambas variables.

4.3.1.1. Calcio

En las **Figura 4.13** se representa gráficamente la evolución del Ca^{2+} en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm), para todo el periodo analizado (enero 2009-agosto 2011).

Se observa en ambas Figuras, un comportamiento diferencial entre sitios. No obstante, en todos los casos los valores fueron superiores a 1 me.l^{-1} , exceptuando al final del ciclo (agosto 2011) que fueron algo menores ($0,8 \text{ me.l}^{-1}$). Por consiguiente, el nivel fue adecuado para asegurar el crecimiento del cultivo (rango adecuado $1\text{-}2 \text{ me.l}^{-1}$ Cuellas y Alconada 2010). La fertilización cálcica, fue en forma de $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$, aportando 100 kg.ha^{-1} en forma de CaO , por ciclo. Cabe destacar, que el pimiento consume en promedio 121 kg.ha^{-1} para producir 100 t.ha^{-1} . Consecuentemente la fertilización cálcica resultó en general adecuada para los rendimientos obtenidos en el ensayo.

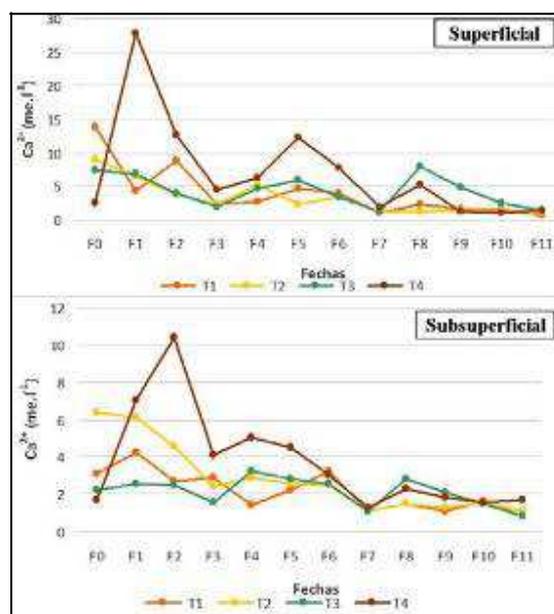


Figura 4.13. Evolución del Ca^{2+} (me.l^{-1}) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011.

Tratamientos con drenes. En los tratamientos con drenes (T1 y T2), el nivel de Ca^{2+} medido durante los tres años varió en el T1 entre un mínimo 0,8 a un máximo de 14 me.l^{-1} y mientras que en el T2 entre 1 y 9 me.l^{-1} . Desde el inicio (F0, enero 2009) y hasta F6 (junio 2010), la evolución del Ca^{2+} presentó variaciones entre fechas de muestreo, que se pueden adjudicar principalmente al estado fenológico del cultivo (diferentes demandas), y al momento de muestreo (fertilización y riego). A partir de F7 (agosto 2010) el nivel descendió y hasta el final del ensayo se mantuvo en niveles próximos a 1-2 me.l^{-1} (Figura 4.13).

Subsuperficialmente, los valores tuvieron menor amplitud (0,8-4 me.l^{-1} T1 y 1-6,4 me.l^{-1} T2), el comportamiento fue similar al superficial descendiendo hacia el final del ensayo (Figura 4.13). Por consiguiente, la correlación entre las concentraciones superficiales y las subsuperficiales fue significativa en el T1 (r 0,56; P 0,05) y muy significativa (r 0,95; P 0,01) en el T2. Cabe destacar, que los niveles subsuperficiales en muchas fechas fueron similares a los superficiales.

En la Figura 8.5 (anexo) se presenta la evolución conjunta del Ca^{2+} en superficie y subsuperficialmente. Se aprecia que sólo en algunas fechas hubo, con diferente amplitud, una variabilidad importante en el Ca^{2+} superficial y subsuperficial, aunque en general entre ambas profundidades valores fueron próximos entre sí. Esto permite inferir que en los tratamientos con drenes al permitir un mayor movimiento del agua los iones disueltos son también distribuidos más homogéneamente, situación que no sucede en el tratamiento con yeso y en testigo, tal como se analiza en punto siguiente. Esto específicamente para el Ca^{2+} resulta importante ya que este se moviliza principalmente por flujo masal (movimiento por el agua por la fuerza motriz que genera la transpiración), y en menor medida por intercepción radicular (Tisdale et al. 1993). Se destaca además, como se comentó, que en ningún caso el dren generó una concentración de Ca^{2+} que suponga deficiencia nutritiva de este catión.

Tratamiento con yeso. En el T3 (yeso) en la Figura 4.13, se observa un comportamiento cíclico en el periodo estudiado (enero 2009-agosto 2011), diferente al esperado. Si bien, puede indicarse una asociación entre lo que absorbió el cultivo al momento de muestreo y niveles de Ca^{2+} , no hubo correspondencia con las fechas de aplicación de la enmienda, tal como se analizó en punto 4.2.2.

En las fechas iniciales de los tres años (enero, previo a la plantación) los concentraciones estuvieron entre 4,7 y 8 me.l^{-1} , en los muestreos siguientes de cada año disminuyeron hasta el final de cada ciclo con valores próximos a los indicados para drenes.

Subsuperficialmente (20-40cm) (Figura 4.13), con igual comportamiento al superficial, los valores de Ca^{2+} fueron menores (rango 0,8-3 me.l^{-1}), y la correlación entre las concentraciones de ambas profundidades fue elevada (r 0,75; P 0,05). Sin embargo, a diferencia de lo indicado para drenes, en este tratamiento tiende el Ca^{2+} a acumularse en superficie (Figura 8.5 anexo) lo que supone que no se produjo una mejora en el movimiento de agua entre ambas profundidades. Esto es coincidente con lo observado en el testigo, tal como se comenta a continuación.

Testigo. Tal como se analizó en el punto 4.2.2 y como se observa en la **Figura 4.13**, hubo en todo el periodo de estudio una elevada variabilidad, entre un mínimo de 1 me.l^{-1}

y un máximo de 28 me.l⁻¹ (CV >40 %). Los valores elevados, tal como el mencionado, se produjeron durante el desarrollo del cultivo (marzo y junio), lo cual es coincidente con lo obtenido en otros estudios de la región, asociados a picos salinos, con concentraciones de 23 me.l⁻¹ a 35 me.l⁻¹ de Ca²⁺ soluble (Alconada et al. 2006). En el presente estudio, durante 2009 y 2010 se producen extremos salinos y de Ca²⁺, luego disminuyen llegando al final del estudio a tomar valores semejantes a los obtenidos en drenes. Por consiguiente, el descenso mencionado podría deberse a un efecto de los drenes en todo el invernáculo.

Subsuperficialmente, el comportamiento fue similar al superficial (r 0,9; P 0,01), con una variabilidad elevada pero con menores valores (< 10 me.l⁻¹) (Figura 4.13).

Interacción con otros cationes

El Ca²⁺, presenta interacción con otros cationes del suelo, por lo tanto para su análisis no solo hay que considerar la concentración del mismo, si no también hay que tener en cuenta la concentración de otros cationes antagónicos (Cadahia 1998).

Interacción con el Mg²⁺. El Mg²⁺ se absorbe rápidamente por la raíz y compite por los sitios de absorción con el Ca²⁺. Por consiguiente la relación entre ambos cationes es muy importante, debido a que la proporción de uno respecto del otro puede causar una deficiencia inducida (Mengel y Kirkby 2000). Se establece que si la relación Ca/Mg es <1 habrá deficiencia de Ca²⁺, y si la misma es >10 la deficiencia será de Mg²⁺. En el ensayo para todos los sitios y durante todo el periodo estudiado los valores estuvieron entre ambos rangos (1-10), no presentándose deficiencia inducida. Cabe destacar, que los tratamientos presentaron en general relaciones entre 3-6 y el testigo presentó valores algo más elevados entre 4-8, los mayores niveles en el testigo se asocia a los picos salinos mencionados en el punto anterior (4.2.1).

Interacción con el Na⁺. Este ión no es en general considerado esencial, su importancia radica en su efecto tóxico sobre las plantas y su efecto dispersivo en el suelo. Sin embargo, en diversas fuentes se indica la importancia de mantener relaciones adecuadas entre el Na⁺ y Ca²⁺, a fin de evitar deficiencias inducidas por competencia de absorción catiónica por parte de la raíz (Alemán et al. 2009; Turhan et al. 2009). De Pascale et al. (2003) señalan mayor incidencia de Blosson end rot (BER) en el fruto por elevada contenido de Na⁺.

En el presente estudio, inicialmente se obtuvieron relaciones bajas entre el Na/Ca (próximas 5 para los tratamientos y a 3 para el testigo). Sin embargo, al transcurrir el ensayo, en general las concentraciones de Ca²⁺ disminuyen, y aumenta dicha relación. Este aumento resulta significativo en el testigo llegando a una relación de 14.

En *síntesis*, el nivel de Ca²⁺ para todo el sitio fue adecuado para el crecimiento del cultivo, con un descenso generalizado hacia el final de ensayo. El comportamiento estuvo principalmente en función del tratamiento implementado. Así, los tratamientos con drenes presentaron una distribución mas homogénea en todo el perfil del suelo, en contraste en el T3 y T4 la concentración se dio en superficie. El T3 no presentó respuesta a la aplicación de enmienda en los niveles de Ca²⁺ soluble ni en el intercambiable. El testigo, presentó picos durante el desarrollo del cultivo que se pudo

deber no solo a la ausencia de tratamientos, si no también a los elevados niveles de Na^+ en el suelo que dificultan la absorción del Ca^{2+} .

4.3.1.2. Magnesio

En el punto 4.2.2 se analizó la evolución del Mg^{2+} en las dos profundidades para todo el periodo analizado (enero 2009-agosto 2011). En la **Figura 4.14** representa dicha evolución.

El Mg^{2+} estuvo en un rango de 0,4-4 me.l^{-1} , correspondiendo las concentraciones más elevadas, con elevada variabilidad ($\text{CV} > 30\%$), en el testigo. Si bien, se presentaron diferencias significativas entre sitios, el comportamiento fue similar y los niveles estuvieron muy próximos, con un descenso marcado hacia el final del ensayo (a partir de marzo 2011) con niveles que en general no superaron 1 me.l^{-1} (Figura 4.14). Esto se debió a que en el establecimiento estudiado no se fertilizó con Mg^{2+} . Por el contrario, en suelos de la región donde normalmente se aplica fertilizante, para condiciones de invernadero suelo Hapludert típico se indican valores desde 2 me.l^{-1} a 13 me.l^{-1} (Alconada 2006). Sin embargo, como se analiza en el punto siguiente a continuación no se observaron en el presente ensayo deficiencias de Mg^{2+} .

Subsuperficialmente (20-40cm), el comportamiento entre tratamientos y el testigo fue más homogéneo, rango 0,6-1,4 me.l^{-1} , menores a los superficiales (Figura 4.14). La correlación entre profundidades con excepción de T1, fue elevada en todos los sitios (r 0,53-0,74; P 0,05). A diferencia de lo sucedido con el Ca^{2+} la distribución fue más homogénea en todo el perfil del suelo en todos los casos, lo cual se asocia a la fertilización y enmienda que se realiza con Ca^{2+} .

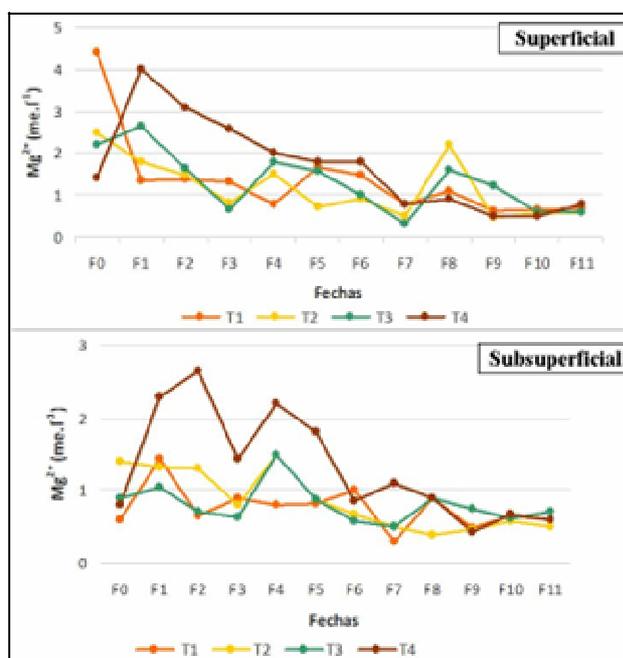


Figura 4.14. Evolución del Mg^{2+} (me.l^{-1}) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011.

Interacción con otros cationes

En el análisis del Mg^{2+} , como sucede con otros cationes, debe considerarse la concentración en la solución del suelo, así como, la interacción con otros cationes, y la disponibilidad para el cultivo (Cadahia 1998).

Respecto al Mg^{2+} Mengel y Kirkby (2000), destacan que se lixivia con facilidad y es absorbido por las plantas en cantidades muy bajas, menores que el K^+ y el Ca^{2+} , y compite con K^+ , favoreciéndose así deficiencias inducidas. León (1994), señala un fuerte efecto antagónico entre el Mg^{2+} y el K^+ . La relación entre ambos cationes se debe encontrar entre 2,5-5, si es menor habrá deficiencia de Mg^{2+} (Havlin et al 1999), Estrada (2001) establece como ideal un valor de 3 (Mg/K).

En el presente estudio, inicialmente (año 2009) la relación entre ambos cationes, para los tratamientos fue próximo a 3, y próximo a 6 en el testigo. Durante el 2010 las relaciones descendieron (0,4-0,8) y aumentaron para el 2011 (1,4-3,7), para todos los sitios. Consecuentemente, en el sitio los niveles de K^+ en general fueron adecuados en el 2009 y 2011, por el contrario en el 2010 resultaron muy elevados respecto al Mg^{2+} , sin embargo las concentraciones de K^+ son en valores absolutos igualmente bajos, tal como se analiza en punto 4.2.4.3).

Las concentraciones indicadas en el presente estudio, así como los del suelo natural (Hurtado et al. 2006), resultan suficientes para una adecuada nutrición magnésica. Sin embargo, son frecuentes en la región deficiencias inducidas de Mg^{2+} , asociadas en general al aporte de Na^+ con el agua de riego (bicarbonatada sódica, punto 4.5). Alpi y Tognoni (1991) destacan la interacción entre ambos cationes. Esto no se produjo en el presente estudio, las hojas no manifestaron síntomas de deficiencia en ningún caso ni año.

En síntesis, el nivel de Mg^{2+} fue similar para todos los sitios, y adecuado para una nutrición magnésica, no observándose deficiencias visuales. La relación con otros cationes en general resultó adecuada.

4.3.1.3. Potasio

En la **Tabla 4.19** se presentan los datos de K^+ superficiales (0-20cm) y subsuperficiales (20-40cm), durante el desarrollo del cultivo, tal como se explica en materiales y métodos. En la **Figuras 4.15**, se representan gráficamente.

En superficie, la concentración de K^+ varió entre 0,3 y 1,6 $me.l^{-1}$ y con niveles algo más bajos subsuperficialmente, entre 0,15 y 1,3 $me.l^{-1}$ (Tabla 4.19), no habiendo correlación entre ambas profundidades, ni diferencias entre sitios. En general, resultan similares a algo menores a los reportados en la región en suelo con invernáculos (entre 0,7-3 $me.l^{-1}$) (Alconada 2006).

En la **Figura 4.15**, se observa, que en general las concentraciones de K^+ estuvieron, por debajo 1 $meq.l^{-1}$. En la región de estudio, se ha encontrado, que si bien este nivel (1

meq.l⁻¹) resulta óptimo para el crecimiento de los cultivos bajo cubierta, con concentraciones menores no se presentaron visualmente deficiencias nutricionales (Alconada et al. 2006; Cuellas y Alconada 2010). Cabe destacar, que se fertilizó con 230 kg.ha⁻¹ de K⁺ aportado como KNO₃ en cada ciclo productivo. Este valor resulta insuficiente de acuerdo a la extracción por ciclo que realiza el pimiento (460 kg.ha⁻¹) (Nuez et al. 1996). Por consiguiente, el bajo nivel de K⁺ soluble en el suelo, se pudo deber al consumo del cultivo, sin una reposición adecuada.

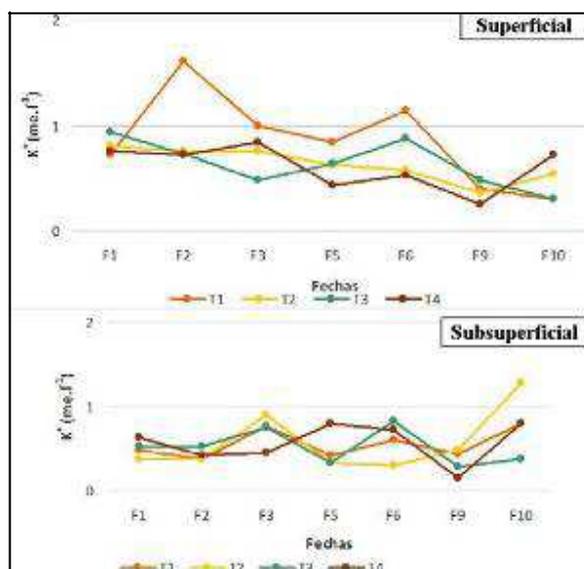


Figura 4.15. Evolución del K⁺ (me.l⁻¹) soluble superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011.

Interacción con el Ca²⁺. Mengel y Kirkby (2000) señalan que si bien en general el Ca²⁺ respecto al K⁺ en solución edáfica es 10 veces mayor, la tasa de absorción de Ca²⁺ es menor que la de K⁺. Esto es debido a que el Ca²⁺ se absorbe por las células más jóvenes de la raíz, mientras que el K⁺ por todas las células. Por consiguiente, niveles elevados de K⁺ pueden afectar la absorción de Ca²⁺, así alta relación K/Ca aumenta la proporción Blossom end rot (BER) (Bar-Tal y Pressman 1996; Taylor et al. 2004).

En los tratamientos con drenes, se observó una correlación significativa entre cationes (Ca-K) ($r > 0,7$ P 0,05) y con una relación (Ca/K) similar durante todo el ensayo (4 a 9), resultando estas adecuadas.

El T3 solo se correlacionó en el 2009 y la relación (Ca/K) aumento hacia el final del ensayo (6 a 16). En el testigo no hubo correlación entre estos cationes y la relación disminuyó significativamente hacia final del ensayo (39 en 2009 y 3 en 2011), llegando a ser insuficiente considerando la relación de referencia ideal de 6, y deficiencias de K⁺ >25, indicado por Estrada (2001).

Interacción con el Na⁺. Diversos autores señalan la interacción entre el Na⁺ y el K⁺ (Bar-Tal et al. 2001; Magon et al. 2005; Supanjani 2006, Goykovic Cortés y Saavedra del Real 2007; Carranza et al. 2008). Al aumentar la concentración del Na⁺ en la

solución del suelo, aumenta su absorción y disminuye la del K^+ . Por consiguiente, un nivel elevado de Na^+ , no solo puede ser fitotóxico, sino que también, induce a una deficiencia de K^+ . En el ensayo se encontró menor relación Na/K para los tratamientos con drenes (entre 20 y 50) y más elevada para el T3 (entre 40 y 105) y testigo (entre 40 y 120).

	K^+ (me.l ⁻¹)							
	T1		T2		T3		T4	
	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.
F1	0,7	0,5	0,8	0,4	0,9	0,5	0,8	0,6
F2	1,6	0,4	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,4
F3	1,0	0,8	0,8	0,9	0,5	0,8	0,8	0,5
F5	0,8	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,4	0,8
F6	1,1	0,6	0,6	0,3	0,9	0,8	0,5	0,7
F9	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2
F10	0,3	0,8	0,5	1,3	0,3	0,4	0,7	0,8

Tabla 4.19. Evolución superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm) del K^+ (me.l⁻¹). Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

En síntesis, los valores en general de K^+ no difieren entre sitios en ambas profundidades de estudio, siendo los valores suficientes para el normal crecimiento de los cultivos. No obstante, podrían producirse deficiencias por su interacción con otros cationes, Na^+ y Ca^{2+} , en el T3 y el testigo. Por el contrario, no se observan relaciones inadecuadas en los tratamientos con drenes.

4.3.2. Nitrógeno, Materia orgánica

En la **Tabla 4.20**, se presentan las concentraciones en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm), de nitrógeno total (Nt %) y de materia orgánica (MO %); y la relación carbono nitrógeno (C/N), para cada sitio, durante todo el periodo evaluado (enero 2009-agosto 2011).

*Nitrógeno total*_. Si bien a priori no es de preveer cambios en los niveles de materia orgánica y Nt atribuible a los tratamientos implementados, se efectuó un estudio de estas variables a fin de seguir su evolución y detectar algún cambio no previsto. En principio, los drenes podrían favorecer la salida de NO_3^- , y esto se analiza en relación a los fertilizantes aplicados.

En la **Tabla 4.20**, se observa que la concentración de N fue similar entre sitios y entre fechas de muestreo, encontrándose entre 0,12-0,18 %. Estos niveles fueron menores a los reportados en los suelos de la región de estudio en condiciones naturales (>0,2 %) (Hurtado et al. 2006), y explican los colores más claros que se observó en el perfil estudiado (Figura 4.6). Subsuperficialmente, los valores fueron semejantes a los superficiales (rango 0,11-0,18%).

En base a lo dicho, puede entonces estimarse que en superficie (0-20cm), la concentración de N fue de 2.400 a 3.600 kg.ha⁻¹ (DA 1,1 g/cm³) de los cuales

aproximadamente 120 a 180 kg.ha⁻¹, se encontraban disponibles en forma de NO₃⁻ (aproximadamente 5%) (Cadahia 1998).

La fertilización del cultivo se realizó, tal como se mencionó en materiales y métodos (punto 3.3) por medio de fertilizantes como Ca (NO₃)₂ y KNO₃, aportando 127 kg.ha⁻¹ de N-NO₃ por ciclo. Según Nuez et al. (1996), el cultivo de pimiento tiene una demanda de 293 kg.ha⁻¹ de N (para 100 t.ha⁻¹). Por consiguiente, el aporte de N por parte de los fertilizantes y el disponible en el suelo fue adecuado para asegurar la nutrición del cultivo.

Respecto al aporte de N como NO₃⁻ como única fuente, se destaca que la bibliografía lo indica como no conveniente, debido a que la planta necesita mayor energía para producir sus proteínas que si tuviesen base amónica, y puede conducir a deficiencias inducidas (como de Mn⁺²) y a un aumento de pH y salinidad (Havlin et al. 1999; Cadahia 1998).

Asimismo, es de destacar que si bien cambia con el momento del cultivo, se recomiendan aportar ambas fuentes en relaciones que van entre 1:3 y 1:4 (NH₄/NO₃) (Feigin et al.1986). Al inicio del crecimiento el NH₄⁺ es beneficioso, pero en estado reproductivo debe disminuirse su proporción ya que aumenta la incidencia de Blossom-end rot (Benton Jones 2007).

Cabe destacar, que además en estos sistemas productivos, los niveles de NO₃⁻ suelen ser elevados por la incorporación de estiércoles de distinto origen (principalmente cama de estiércol de gallina), aumentando la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas no solo con NO₃, sino también de un variado número de nutrientes no esenciales, incluso tóxicos, y aportando alta salinidad (Auge y Nagy 1999).

SUPERFICIAL												
	T1			T2			T3			T4		
	Nt	MO	C/N									
F0	0,16	3,1	11,3	0,17	3,1	10,6	0,14	2,4	10	0,13	2,8	12,5
F3	0,12	2,3	11,1	0,10	2,1	12,0	0,12	2,5	12,5	0,11	2,3	11,8
F4	0,12	2,3	11,1	0,12	2,5	12,1	0,10	2,2	12,8	0,15	3,0	11,6
F7	0,15	2,7	10,5	0,13	2,5	11,2	0,14	2,7	11,2	0,18	2,9	9,4
F8	0,14	2,5	10,4	0,12	2,1	10,2	0,13	2,1	9,4	0,15	2,3	8,9
F11	0,12	2,0	9,7	0,12	2,4	11,6	0,13	2,6	11,6	0,13	2,5	11,2
SUBSUPERFICIAL												
F0	0,15	2,5	9,7	0,15	2,9	11,2	0,14	2,2	9,1	0,14	2,4	10,0
F4	0,13	2,5	11,2	0,13	2,5	11,2	0,12	2,3	11,1	0,11	2,4	12,7
F7	0,12	2,1	10,2	0,16	2,9	10,5	0,15	2,4	9,3	0,18	3,5	11,3
F8	0,14	2,3	9,6	0,16	2,5	9,1	0,14	2,3	9,6	0,13	2,1	9,4
F11	0,13	2,6	11,6	0,14	2,6	10,8	0,12	2,4	11,6	0,11	1,9	10,0

Nt-(%) nitrógeno total; MO(%)-materia orgánica; C/N-relación carbono nitrógeno.

Tabla 4.20. Niveles de nitrógeno total (%); materia orgánica (%) y relación C/N en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm). Tratamientos y testigo, periodo enero 2009-agosto 2011.

En síntesis, tal como era de prever no hubo diferencia entre sitios, ni entre profundidades de evaluación. Sólo se destaca que el agregado de fertilizante y enmiendas, no solo no considera las relaciones $\text{NH}_4\text{-NO}_3$, sino tampoco la salinidad y otros contaminantes que se aportan.

Materia orgánica. Los niveles estuvieron en un rango 2,1-3,1%, y si bien hubo diferencias en algunas fechas entre sitios, no se puede establecer un patrón definido en el comportamiento de los tratamientos (Tabla 4.20).

Los niveles de MO, observados fueron bajos y menores a los encontrados en los suelos de la región en su condición natural (>4%) (Hurtado et al. 2006), y a los reportados en diferentes estudios (Alconada 2004; del Pino et al. 2006; Cuellas y Delmazzo 2013).

Cabe destacar, que el sitio donde se realizó en el ensayo regularmente efectúa un agregado continuo de estiércol en forma de cama con estiércol de gallina, conforme se recomienda en la región con la finalidad de aumentar la materia orgánica del suelo. Sin embargo, como es de prever, esto no condujo a aumentos materia orgánica, ya que los materiales orgánicos formadores de humus son los de origen vegetal (Labrador Moreno 1996), y si bien las camas aportan algo de material vegetal, no resulta significativo. Asimismo, es de destacar el incremento en pH, sales, y elementos contaminantes que la aplicación de estos estiércoles genera. Esta práctica, asociada a fertilizaciones excesivas condujeron a una degradación del sitio productivo, afectando el rendimiento de los cultivos en muchos otros sitios de la región (Alconada et al. 2006; del Pino et al. 2006; Alconada et al. 2011).

En síntesis, al igual que el Nt, y como era de prever no hubo diferencias atribuibles a los tratamientos. En general, se aprecia un empobrecimiento marcado, mayor incluso que al registrado en otros ámbitos degradados de la región.

Relación C/N. Al igual que lo observado en las variables anteriores, no se presentó diferencia entre sitios y entre fechas de muestreo. Los valores encontrados estuvieron próximos a 10, y fueron similares a los reportados por Hurtado et al. (1996) en los suelos de la región en su condición natural (C/N 11) (Tabla 4.20).

4.3.3. Fósforo

Las concentraciones de P asimilable (BK I) para los tratamientos y el testigo, en las dos profundidades de muestreo (0-20 y 20-40cm), se presentan en la **Tabla 4.21**. En la misma se observa que se inició el ensayo con un nivel muy elevado en todo el sitio de estudio (próximos a 250 ppm), con extremos de 440 ppm. Durante el ensayo y hacia la finalización del mismo el nivel de P asimilable disminuyó para todos los casos, no obstante la concentración continuó siendo elevada (> a 120 ppm), siendo dicha disminución atribuible al manejo de la fertilización por parte del productor.

Si bien no hubo diferencia significativa entre sitios, la concentración de P a partir de F7 fue algo mayor para el testigo (rango 180-286 ppm) respecto de los tratamientos con drenes (146-205 ppm T1; 148-179 ppm T2), el T3 llegó en estas fechas a extremos de 300ppm (Tabla 4.21). La elevada variabilidad y tan altos valores, donde pueden

aparecer errores analíticos no permiten indicar que las diferencias sean debidas a los tratamientos implementados.

Cabe destacar, que los suelos de la región en su condición natural se caracterizan por tener un nivel bajo de P asimilable muy bajo (< a 10 ppm). El uso continuo y excesivo del ácido fosfórico como nutriente y para bajar el pH del suelo, a conducido a situaciones de hiperfertilización, tal como las reportadas por Giuffré et al. (2004) y Alconada et al. (2006).

El sitio de estudio no es ajeno a esta situación, en el mismo se aportan 240 l.ha⁻¹ de ácido fosfórico por ciclo de cultivo que representan aproximadamente 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. Si se considera que el cultivo de pimiento requiere solo 76 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ para producir una 100 t.ha⁻¹ (Nuez et al. 1996) se esta agregando un exceso de más de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ por ciclo de pimiento.

Cadahia (1998) destaca la formación de fosfatos de calcio, siendo los mismos no disponibles para las plantas, cuando se aplican elevadas concentraciones de P que precipita el Ca²⁺ del suelo. Asimismo excesos de P pueden provocar deficiencias de Fe²⁺ y Zn²⁺ en el cultivo (Alpi y Tognoni 1991). Asimismo también el Ca²⁺ puede ser antagonico con el P, aumentando la incidencia de Blossom end rot, deficiencia nutricional que se presenta comúnmente en el región. En el presente ensayo, se observó en forma variada dicho desorden fisiológico, sin ser atribuible a los tratamientos, sino al momento del cultivo y aplicación de fertilizantes.

Asimismo, en el ensayo se evidenciaron sectores con *clorosis férrica* que también puede atribuirse al elevado nivel de P en el suelo. En la **Figura 4.16**, se presenta un sector del ensayo, correspondiente al testigo, con plantas con hojas cloróticas.

	P asimilable (ppm)							
	T1		T2		T3		T4	
	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.
F0	352	276	277	443	308	340	392	412
F3	173	180	128	s/d	210	s/d	145	s/d
F4	170	189	214	128	103	108	142	188
F7	205	185	179	219	312	255	286	321
F8	181	188	157	181	208	224	226	243
F11	146	139	148	128	174	174	185	193

Tabla 4.21. Niveles de fósforo asimilable (ppm) en superficie (0-20cm) y en subsuperficie (20-40cm). Tratamientos y testigo periodo enero 2009-agosto 2011.



Figura 4.16. Plantas de pimiento con hojas cloróticas pertenecientes al testigo.

En síntesis, las concentraciones de P asimilable fueron elevadas en todo el sitio de estudio, con valores extremos de 400 ppm, si bien no hubo diferencia entre sitios, el T3 con yeso, y el testigo hacia el final del ensayo presentaron las mayores concentraciones.

El agregado de ácido fosfórico conduce a una hiperfertilización con P y a deficiencias inducidas en el cultivo.

4.4. Propiedades físicas del suelo

Conductividad hidráulica (K_s). En la **Tabla 4.22** se presentan los resultados de conductividad hidráulica (K_s , cm.h^{-1}) en las fechas evaluadas (F1 y F11), en superficie (0-20cm) y subsuperficialmente (20-40cm). La K_s en F1 (marzo 2009) fue similar para el T1 y el T3 (próximos a 2 cm.h^{-1}), y algo más elevada para el T2 ($4,7 \text{ cm.h}^{-1}$) y el testigo ($6,6 \text{ cm.h}^{-1}$). Subsuperficialmente los valores para todos los sitios fueron cercanos entre sí y próximos a 3 cm.h^{-1} .

Según la interpretación de Etchevereh (1976) del valor de permeabilidad medido por permeámetros de tipo cilindro (doble anillo), los resultados obtenidos se los puede clasificar en superficie de permeabilidad moderada a moderada rápida y subsuperficialmente como permeabilidad moderada (Tabla 8.16 anexo)

Tal como se analizó en el punto 4.2.1.1 en esta fecha (F1) la salinidad entre sitios presentó marcados extremos. En el testigo se midió la mayor salinidad, con valores máximos de $9,83 \text{ dS.m}^{-1}$, mientras que en los tratamientos fue próxima a $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$. Sin

embargo la RAS entre sitios fue muy similar presentando en todos los casos valores elevados (próximos a 14) (punto 4.2.2.1), debido principalmente al agua de riego bicarbonatada sódica (punto 4.5).

Se observa entonces que la elevada salinidad condujo a una mayor permeabilidad en el testigo, aún siendo también elevada la RAS. No obstante, al finalizar el ensayo (F11, agosto 2011), cuando la salinidad general disminuyó (próximos a 1,5 dS.m⁻¹ drenes y a 2 dS.m⁻¹ para el T3 y T4) (punto 4.2.1.3), y la RAS se mantuvo elevada (próxima a 16), los valores de Ks fueron muy similares entre sitios (próximos a 5 cm.h⁻¹). Para los tratamientos este valor resultó ser mayor al encontrado en F1, y para el testigo fue algo menor. Consecuentemente, no hubo una disminución de la Ks atribuible a la menor salinidad general que generan los drenes, aún manteniendo elevada la RAS. Subsuperficialmente, al igual que lo observado en superficie, la Ks entre sitios fue similar y mayor al nivel encontrado en F1.

Índice de estabilidad de agregados (IEA). En **Tabla 4.22** se presentan los datos obtenidos de IEA según la técnica de Douglas y Goss (1982), para la F1 correspondiente al muestreo realizado en marzo de 2009.

La escala de esta metodología (IEA), ajustada para las condiciones de la pradera pampeana por el Laboratorio de Suelo del INTA de Pergamino, establece como estables valores \geq a 40% y como muy inestables niveles \leq 19,99%. Se observa, que todos los valores en el ensayo fueron muy bajos entre 4,5 y 8,2%, encontrándose todo el sitio en una situación de inestabilidad generalizada. Posiblemente, en el presente suelo, no resulte pertinente dicha escala. No obstante se destaca, que en el testigo los valores de inestabilidad tienden a ser algo menores que en los tratamientos restantes debido a una mayor salinidad. Sin embargo, la inestabilidad continúa siendo elevada y no justifica mantener elevados contenidos de sales.

	Ks(cm.h ⁻¹)							
	T1		T2		T3		T4	
	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.
F1	1,3	2,4	4,7	3,5	2,8	2,9	6,6	2,8
F11	5,6	6,0	5,4	5,0	5,2	5,1	5,1	4,8
	IEA (%)							
F1	5,1	s/d	7,5	s/d	4,5	s/d	8,2	s/d

Tabla 4.22. Conductividad hidráulica (Ks) (cm.h⁻¹), para todos los sitios en superficie (0-20cm) y subsuperficie (20-40cm), en F1 y en F11. Índice de inestabilidad de los agregados (%) en superficie para F1.

4.5. Calidad del agua de riego

En la **Tabla 4.23**, se presenta los resultados del análisis del agua de riego. Según el diagrama de Piper Hill (Fagundo et al. 2001) se la define como bicarbonatada sódica.

Las normas de Riverside (U.S.S Lab. Staff. 1954), la clasifican como C3S2, aguas utilizables para el riego con precauciones. Sin embargo este criterio de clasificación no tiene vigencia actualmente, ya que erróneamente considera que un agua con mayor

contenido de sales aún con mucho sodio es de peor calidad que una de baja salinidad y alto sodio. Tal como es sabido, la salinidad contrarresta, al menos parcialmente, la dispersión del suelo producida por el Na^+ al aumentar el espesor de la superficie de intercambio de los coloides (Porta et al. 1994; Pla Sentís 1988).

Así el agua utilizada en el ensayo considerando la CE 820 uS.m^{-1} y la RAS de 7,73 se la califica como un agua de riesgo moderado a importante para salinización-alcalinización (Ayres y Wescott 1987). Se destaca, además el elevado contenido de HCO_3^- , que la define de peligrosidad media a importante en riego por aspersión por acción directa sobre las plantas.

Asimismo, el elevado contenido de HCO_3^- , afecta la RAS del suelo, tal como se mencionó en el punto 4.2.2., debido a que precipita el Ca^{+2} y Mg^{+2} de la solución del suelo, como CaCO_3 y MgCO_3 , y en consecuencia, aumenta la proporción de Na^+ y la correspondiente RAS (Pizarro 1978).

Esta situación se agudiza por el elevado nivel de Na^+ ($7,3 \text{ me.l}^{-1}$), y los bajos contenidos de Ca^{2+} ($1,1 \text{ me.l}^{-1}$) y Mg^{2+} ($0,7 \text{ me.l}^{-1}$), y la baja permeabilidad del suelo (Pla Sentís 1983). Si se aplica el criterio de evaluación de agua para riego de Pla Sentís (1988) este tipo de agua en un suelo como el del presente estudio presenta un riesgo de alcalinización-salinización de moderado a alta. Esto es coincidente con lo obtenido con otras aguas de la región y suelos con alta proporción de arcillas (Alconada y Zembo 2000).

Pizarro (1978), describe diversos índices que son con frecuencia utilizados en la bibliografía tradicional de calidad de agua. Entre estos, el carbonato de sodio residual (RSC) que permite establecer el peligro de sodificación, siendo mayor a 6 me.l^{-1} y consecuentemente no apta para el riego por este criterio. Otros índices son el CIP que evalúa la peligrosidad del ión cloro, y el índice del Mg, siendo para ambos, agua apta.

Determinaciones	Valor
pH	7,7
CE uS.m^{-1}	820
Cationes (me.l^{-1})	
Na^+	7,3
K^+	0,2
Ca^{2+}	1,1
Mg^{2+}	0,7
Aniones (me.l^{-1})	
$(\text{SO}_4)^{2-}$	0,6
$(\text{Cl})^-$	0,5
$(\text{CO}_3)^{2-}$	0,0
$(\text{HCO}_3)^-$	7,8
Índices	
RAS	7,7

Tabla 4.23. Análisis del agua de riego

En síntesis, la calidad del agua utilizada en el riego presenta un riesgo de salinización y sodificación de los suelos de moderado a importante. Esta situación no solo está definida por la CE y la RAS del agua sino también por el elevado contenido de bicarbonatos y Na^+ , bajos contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , y por el tipo de suelo, con alta proporción de arcillas desde superficie, imperfectamente drenado. Puede entonces considerarse que la interacción calidad de agua y tipo de suelo, se constituyen en un problema de salinización-alcalinización creciente, si ambos no son adecuadamente manejados (Pla Sentís 1988).

CAPÍTULO 5. CULTIVO

5.1. Evaluación fenológica

5.1.1. Año 2009

Evaluación fenológica en etapa vegetativa e inicio de floración-fructificación (Marzo)

En la **Tabla 5.1** se presentan los valores de altura de planta (H), calibre de tallo (CT), área foliar (AF) y número de frutos (NF). Los valores que se consignan corresponden a promedios por tratamiento, tal como se explica en materiales y métodos. En la Tabla 8.9 (anexo) se presentan las correlaciones de estas variables con las propiedades edáficas superficiales (0-20cm) correspondientes al muestreo de suelo realizado en marzo (F1).

Altura de la planta y calibre de tallo. Se observa en la **Tabla 5.1**, que el T1 (dren 10) presentó plantas de mayor altura (122,5cm) con mayor calibre del tallo (0,61cm), diferenciándose significativamente del resto (P 0,01). Asimismo el T2 (dren 15) y el T3 (yeso) (próximos a 114cm en H y 0,53cm en CT) se diferenciaron significativamente del testigo (T4) (H 99,5cm; CT 0,46cm) (P 0,01).

Estas variables se correlacionaron inversamente en forma significativa con el pH y la salinidad (CE) del suelo (P 0,01) (Tabla 8.9). Por consiguiente, la salinidad afectó el crecimiento fenológico del cultivo. Así las plantas que se desarrollaron en el testigo, con valores elevados de CE ($9,8 \text{ dS.m}^{-1}$), tuvieron menor altura, y tallos más finos. Por el contrario, las plantas desarrolladas en el T1 con menor salinidad y pH (CE $2,7 \text{ dS.m}^{-1}$ y pH 7) fueron más altas y con tallos más gruesos. Estos resultados coinciden con otros estudios (Muñoz et al. 2004; Ortiz 2011; Páres et al. 2008 en Martínez Villavicencio et al. 2011; Goykovic Cortés y Saavedra del Real 2007).

El cultivo de pimiento requiere para un crecimiento óptimo una CE comprendida entre $1,5$ a $2,2 \text{ dS.m}^{-1}$ (Nuez et al. 1996) y un pH entre 6-6,5 (Porta et al. 1994). Como se analizó en los puntos 4.2.1 y 4.2.4, los niveles encontrados en el suelo en los tratamientos estuvieron por encima de dicho rango (CE $2,7$ - $4,4 \text{ dS.m}^{-1}$ y próximos a pH 7) y muy por encima en el testigo (CE $9,5 \text{ dS.m}^{-1}$ y pH 7,5). Consecuentemente, como se ha mencionado anteriormente, el crecimiento y desarrollo del cultivo estuvo muy influenciado por ambas variables edáficas.

Respecto a la relación con los cationes solubles del suelo, ambas variables (H y CT) se correlacionaron inversamente con la relación Ca/K (r 0,63 para H y r 0,78 para CT). Los tratamientos presentaron valores de Ca/K entre 7-9, el testigo presentó los valores más elevados (> 30).

La relación Na/K, también se correlacionó inversamente ($r > 0,65$) con las variables de crecimiento del cultivo (H y CT). Por consiguiente, tal como se analizó en el punto 4.3.1 elevados niveles de Na^+ en la solución del suelo, interfieren en la absorción de otros cationes como el Ca^{2+} y K^+ , aún cuando la disponibilidad de los mismos es elevada, afectando el crecimiento del cultivo (Martínez Villavicencio et al. 2011).

El índice de ahilamiento (H/CT) fue mayor para el T3 (yeso) y para el testigo, respecto de los tratamientos con drenes. Valores elevados de RHD hace inferir que son plantas con tallos más débiles para soportar la carga de los frutos (Muñoz et al. 2004)

Área foliar. El área foliar fue mayor en el T1 (135,6cm²) con diferencia significativa respecto de los tratamientos (próximos a 112cm²) y del testigo (97,7cm²) (P 0,05). Asimismo los tratamientos (T2 y T3) se diferenciaron del testigo (Tabla 5.1). Por lo tanto, la elevada salinidad en el suelo, también afectó la expansión foliar, esto se reflejó en la correlación inversa (> 0,57) con las variables del suelo (CE, pH, RAS y Na/K) (P 0,01) (Tabla 8.9 anexo). La reducción del área foliar puede atribuirse al elevado Na⁺ respecto al K⁺, tal como señalan diversos autores (Marschner 1995; Berrios Ugarte et al. 2007). Así, autores señalan que relaciones Na/K elevadas generan deficiencias inducidas de K⁺, y asociado a esto, dificultades en el normal funcionamiento de las células estomáticas, disminuyendo la fijación neta de CO₂ por unidad de área, afectando la fotosíntesis y por lo tanto el crecimiento de la planta.

Número de frutos. El número de frutos por planta fue significativamente mayor para los tratamientos con drenes, respecto del T3 y del T4 (que no se diferenciaron entre sí) (P 0,05).

	HP (cm)	CT (cm)	AF (cm ²)	NF (n°/pl)
T1	122,5 A	0,61 A	135,6 A	9,0 A
T2	114,8 B	0,54 B	118,0 B	9,1 A
T3	113,1 B	0,52 B	113,1 B	7,1 B
T4	99,5 C	0,46 C	97,7 C	6,8 B

HP: Altura de planta; CT: Calibre tallo; AF: Área foliar; NF: Número frutos
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 5.1. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2009. Comparación tratamientos y testigo.

En síntesis, en la primera evaluación fenológica se observó un mejor desarrollo en las plantas cultivadas en el T1. Por el contrario, las plantas del testigo tuvieron menor desarrollo fenológico. En todos los sitios, se observó una marcada influencia de las variables edáficas (pH, CE y concentraciones de Na⁺) sobre el crecimiento del cultivo.

Evaluación fenológica en etapa reproductiva (Junio)

En la **Tabla 5.2** se presentan los valores de altura de planta, calibre de tallo y área foliar, evaluados en junio y el peso seco realizado al final del cultivo. En la Tabla 8.9 (anexo) se presentan las correlaciones de estas variables con las variables edáficas superficiales (0-20cm) correspondientes al muestreo de suelo realizado en junio (F2).

Altura de la planta. Al igual que lo analizado en marzo, el T1 presentó la mayor altura (145,1cm) de plantas diferenciándose significativamente del T3 (128,2cm) y del testigo (116,1cm) (P 0,05). Asimismo el T3 y T4 no se diferenciaron entre sí (Tabla 5.2). La menor altura de plantas en el testigo se puede deber a que este tratamiento presentó niveles elevados de salinidad (7,5 dS.m⁻¹). No obstante, a diferencia de marzo no se encontró correlación significativa entre la altura de plantas y las variables edáficas (pH, CE, relación entre cationes solubles)

Calibre de tallo. Los tratamientos con drenes (T1 y T2) (próximos a 0,44cm) se diferenciaron significativamente, del T3 y del T4 (próximos a 0,33cm) (P 0,05).

Asimismo esta variable se correlacionó inversamente con la salinidad del suelo y con la relación entre cationes solubles (Na/K).

El índice de ahilamiento (H/CT), al igual que en la primera evaluación (marzo) fue mayor para el T3 (yeso) y para el testigo, respecto de los tratamientos con drenes.

Área foliar_. Fue mayor en el T1 (79,3cm²) diferenciándose significativamente del testigo (61cm²). Asimismo los tratamientos (T2 y T3) y el testigo no se diferencian entre sí. Estos niveles se correlacionan inversamente con los niveles de salinidad (r 0,57) y con la RAS del suelo (r 0,54) (P 0,05) (Tabla 8.9 anexo).

Peso Fresco_. Los tratamientos con drenes (próximos a 630g) se diferenciaron significativamente del T3 y del testigo (próximos a 430g) (P 0,05). Esta diferencia fue en una reducción del peso fresco del T3 y T4 en un 30%. Esto muy posiblemente se deba a que la salinidad disminuyó el contenido hídrico de las plantas, afectando la biomasa fresca. Similares resultados fueron encontrados por Muñoz et al. (2004).

	HP (cm)	CT (cm)	AF (cm ²)	PF (g)
T1	145,1 C	0,45 B	79,3 B	654,4 A
T2	134,6 BC	0,43 B	72,5 AB	609,0 A
T3	128,2 AB	0,36 A	71,5 AB	455,3 B
T4	116,1 A	0,31 A	61,0 A	409,0 B

HP: Altura de planta; CT: Calibre tallo; AF: Área foliar; PF: Peso fresco
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 5.2. Evaluación fenológica junio 2009, y peso fresco del cultivo. Comparación tratamientos y testigo.

En síntesis, al igual que lo ocurrido en la primera evaluación, las plantas cultivadas en el T1 presentaron el mejor desarrollo fenológico y las plantas menos desarrolladas fueron las del tratamiento testigo que presentó en esta fecha la mayor salinidad. Consecuentemente el peso fresco fue mayor en los tratamientos con drenes.

5.1.2. Año 2010

Evaluación fenológica en etapa vegetativa e inicio de floración-fructificación (Marzo)

En la **Tabla 5.3** se presentan los valores de altura de planta (HP), calibre de tallo (CT), área foliar (AF) y número de frutos (NF). Los valores que se consignan corresponden a los promedios por tratamiento, tal como se explica en materiales y métodos. En la Tabla 8.10 (anexo) se presentan las correlaciones de estas variables con las variables edáficas superficiales (0-20cm) correspondientes al muestreo de suelo realizado en marzo (F1).

Altura de planta_. Se observa que los tratamientos con drenes (T1 y T2) presentaron plantas de mayor altura (valores próximos a 105cm), diferenciándose significativamente el T2 del T3 (yeso) y T4 (testigo) (promedios próximos a 93cm) y el T1 solo del T3 (P 0,05). A su vez el T3 y T4 no se diferenciaron entre sí.

Calibre del tallo. Las plantas que se cultivaron en los tratamientos con drenes tuvieron mayor calibre (0,5cm) diferenciándose significativamente de los T3 y T4, que no se diferenciaron entre sí (próximos a 0,4cm).

Área foliar. El área foliar de las plantas de los tratamientos con drenes fue mayor (valores próximos a 131 cm²), con diferencia significativa (P 0,05) respecto del testigo (100,8cm²).

Número de frutos. El número de frutos por planta fue mayor en el T2 (7,4) con diferencia significativa respecto del resto de los tratamientos (próximos a 6).

No se presentó coeficiente de correlación significativo entre las variables edáficas y las fenológicas, esto muy posiblemente pueda deberse a que durante F1, el rango de valores de salinidad (2,4-3,9 dS.m⁻¹) y el del resto de las variables edáficas, no variaron tan intensamente como en el año 2009, donde se presentaron los picos salinos. Sin embargo, la menor salinidad del T2 (2,4 dS.m⁻¹) respecto del resto de los sitios (próximos a 3,7 dS.m⁻¹) se ven reflejadas en las diferencias mencionadas anteriormente en el crecimiento fenológico del cultivo.

	HP (cm)	CT (cm)	AF (cm ²)	NF (n°/pl)
T1	100,8 BC	0,53 A	137,3 C	6,0 AB
T2	110,5 C	0,53 A	126,5 BC	7,4 C
T3	90,0 A	0,46 B	113,6 AB	5,6 A
T4	97,6 AB	0,41 B	100,8 A	6,9 BC

HP: Altura de planta; CT: Calibre tallo; AF: Área foliar; NF: Número frutos
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre si (p: 0,05).

Tabla 5.3. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2010. Comparación tratamientos y testigo.

En síntesis, las plantas cultivadas en los tratamientos con drenes presentaron mejor desarrollo fenológico, no se encontró en esta fecha correlación con las variables edáficas. Esto se puede deber a que la amplitud en los niveles de salinidad y sodicidad entre sitios no fue tan marcada como en el 2009.

Evaluación fenológica etapa reproductiva (Junio)

En la **Tabla 5.4** se presentan los valores de altura de planta, calibre de tallo y área foliar evaluados en junio y los valores de peso fresco y seco al final del cultivo. En la Tabla 8.10 (anexo), se presentan las correlaciones de la variables fenológicas con las edáficas superficiales (0-20cm) correspondientes al muestreo de suelo realizado en junio (F6)

Altura de planta. En esta fecha, las plantas cultivadas en los sitios donde se encontraban instalados los drenes, continuaron presentando la mayor altura (próximas a 124cm), con diferencia significativa respecto del T3 y T4 (valores próximos a 104cm) (P 0,05), y se encontró correlación significativa (P 0,05) entre esta variable y el pH del suelo

(r

-0,56).

Calibre de tallo. Asimismo el calibre de los tallos fue mayor para el T1 (0,58cm) con diferencia significativa (P 0,05) respecto del resto de los sitios. Los T2 y T3 con valores próximos a 0,5cm no se diferenciaron entre sí, pero sí lo hicieron del testigo (0,43cm). Por consiguiente, las plantas del testigo presentaron el mayor índice de ahilamiento.

Área foliar. El área foliar de las plantas correspondientes al dren de menor diámetro (T1), fue mayor (104,5cm²) con diferencia significativa respecto del resto de los sitios (próximos a 88,5cm² tratamientos y 74,4cm² testigo). Esta variable se correlacionó significativamente con la relación Ca/K (r -0,48; P 0,05) y muy significativamente con la relación Na/K (r -0,59; P 0,01) (Tabla 8.10 anexo).

Peso fresco y seco. El T2 (dren 15) se diferenció significativamente del resto, siendo su PF mayor al 25% respecto del T1 (dren 10) y mayor al 40% respecto del T3 (yeso) y del (T4) testigo. La diferencia en el PS entre plantas del T2 y los otros sitios, fue algo menor solo un 10% respecto de T1 y un 30-35% con diferencia significativa respecto del T3 y T4 (P 0,05). Coincidentemente con lo reportado por Muñoz et al. (2004), la salinidad disminuye principalmente el contenido hídrico de las plantas, afectando especialmente la biomasa fresca dificultando las funciones metabólicas del cultivo.

	HP (cm)	CT (cm)	AF (cm ²)	PF (g)	PS (g)
T1	127,8 B	0,58 C	104,5 B	540,0 B	0,14 A
T2	121,4 B	0,52 B	82,7 A	735,8 A	0,16 A
T3	101,3 A	0,48 B	88,3 A	465,8 B	0,11 B
T4	106,4 A	0,43 A	74,4 A	417,5 B	0,10 B

HP: Altura de planta; CT: Calibre tallo; AF: Área foliar; PF: Peso Fresco; PS: Peso Seco
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 5.4. Evaluación fenológica junio 2010, peso fresco y seco del cultivo. Comparación tratamientos y testigo.

En síntesis, al igual que la evaluación anterior las plantas de los tratamientos con drenes presentaron mejor desarrollo fenológico, que se reflejó en los valores de PF y PS. En esta fecha se encontró correlación significativa con la relación Na/K y Ca/K.

5.1.3. Año 2011

Evaluación fenológica en etapa vegetativa e inicio de floración-fructificación (Marzo)

En la **Tabla 5.5**, se presentan los valores de altura de planta, calibre de tallo, área foliar y número de frutos. Los valores que se consignan corresponden a los promedios por tratamiento, tal como se explica en materiales y métodos. En la Tabla 8.11 (anexo), se presentan las correlaciones de estas variables con las variables edáficas superficiales (0-20cm) correspondientes al muestreo de suelo realizado en marzo (F9).

Altura de planta. El T1 (dren 10), presentó plantas de mayor altura (77,5cm), diferenciándose significativamente del resto de los sitios (P 0,05). Asimismo, el T2 (dren 15) y T3 (yeso), con valores cercanos a 71cm no se diferenciaron entre sí, pero sí lo hicieron del testigo (54,9cm).

Calibre del tallo_. Las plantas que se cultivaron en los tratamientos con drenes tuvieron mayor calibre (0,56cm) diferenciándose significativamente de los T3 y T4, asimismo estos tratamientos se diferenciaron entre sí (P 0,05).

Área foliar_. Al igual que la altura de las plantas, fue mayor (124,7cm²) para las plantas que se encontraban instaladas en el dren de menor diámetro, diferenciándose (P 0,05) del resto de los sitios. El T2 y T3 no se diferenciaron entre sí, el testigo con menor valor (81,9cm²) se diferenció de los tratamientos.

Número de frutos_. El número de frutos por planta fue mayor para el T3. Sin embargo si bien hay diferencia estadística la cantidad de frutos por planta fue muy similar para todas las plantas con valores entre 3,5-4.

Con excepción de la cantidad de frutos por planta, se encontró correlación inversa entre las variables fenológicas analizadas y la relación Na/K (Tabla 8.11 anexo). Por consiguiente a menor concentración de K⁺ y mayor de Na⁺, hubo menor desarrollo vegetativo de la planta.

	HP		CT		AF		NF	
	(cm)		(cm)		(cm ²)		(n°/pl)	
T1	77,6	A	0,56	A	124,7	A	3,8	AB
T2	70,6	B	0,56	A	106,1	B	3,3	B
T3	71,6	B	0,51	B	109,5	B	4,1	A
T4	54,9	C	0,46	C	82,0	C	3,3	B

HP: Altura de planta; CT: Calibre tallo; AF: Area foliar; NF: Número frutos
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre si (p: 0,05).

Tabla 5.5. Evaluación fenológica del cultivo marzo 2011. Comparación tratamientos y testigo.

En la **Tabla 5.6**, se presentan los valores promedio del peso fresco (PF) y del peso seco (PS), por planta y tratamiento. En la misma se puede observar que las plantas correspondientes a los tratamientos con drenes con un PF próximos a 526g, se diferenciaron significativamente del resto (P 0,05). El PF de estos tratamientos (T1 y T2) fue mayor al 40% respecto del T3 y al 55% respecto del T4. La diferencia en el peso seco entre plantas de los tratamientos con drenes y el resto de los sitios, fue algo menor, un 25% respecto del T3 y un 45% respecto de T4. Siendo esta diferencia solo significativa en el T1 (P 0,05).

	PF (grs)		PS (grs)	
T1	545,0	B	0,13	C
T2	506,7	B	0,10	BC
T3	302,5	A	0,08	AB
T4	227,5	A	0,06	A

PF: Peso Fresco; PS: Peso Seco
Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05)

Tabla 5.6. Peso fresco y seco del cultivo, año 2011. Comparación tratamientos y testigo.

En síntesis, al igual que lo ocurrido en los años anteriores, las plantas que se desarrollaron en los sitios donde estaban instalados los drenes, presentaron mejores características fenológicas, que se reflejó en los valores de PF y PS del cultivo. La influencia de las variables edáficas no fue tan acentuada como en el año 2009.

En conclusión, se observó durante todo el periodo estudiado (enero 2009-agosto 2011), que las plantas cultivadas en los sitios donde estaban instalados los drenes presentaron mejor desarrollo fenológico. Por el contrario, el testigo presentó el menor desarrollo. Esto se pudo deber principalmente a las características edáficas, cuyas diferencias entre los tratamientos y el testigo se manifestaron con mayor intensidad al inicio del ensayo. Si bien, al analizar la salinidad se encontró una tendencia hacia la homogeneización del sitio, con la presencia de picos salinos característicos de la región de estudio, en el resto de las variables la diferencia en general fue a favor de los drenes, esto quedó reflejado en las variables fenológicas en donde las diferencias entre los tratamientos y el testigo se observaron durante todo el ensayo.

5.2. Calidad de los frutos y rendimiento del cultivo

5.2.1. Calidad de los frutos

5.2.1.1. Año 2009

Calidad de frutos

En la **Tabla 5.7** se presentan los valores de peso, calibre y largo del fruto. El análisis de cosecha se dividió en tres estratos conforme al crecimiento del cultivo y de los frutos, tal como se explica en materiales y métodos. En la Tablas 8.12 y 8.13 (anexo) se presentan las correlaciones de estas variables (calidad del fruto) con las variables edáficas superficiales y con las variables fenológicas, respectivamente.

Estrato 1 (29/4-13/5). Los frutos del T2 (dren 15) con un peso promedio de 365,4g se diferenciaron significativamente del T4 (testigo) (308,5g) (P 0,05). Asimismo los frutos de este tratamiento (T2) fueron más largos (15,3cm) diferenciándose significativamente del T3 (yeso) y del testigo (próximos a 14cm). El T1 (dren 10), si bien tuvo frutos de mayor peso y largo respecto del testigo, no se diferenció significativamente. El calibre de los frutos fue similar entre sitios, sin diferencia significativa, no obstante los tratamientos tuvieron frutos de mayor calibre (próximos a 84,5mm) respecto del testigo (81,6mm) (Tabla 5.7).

Cabe destacar, que se encontró correlación inversa entre el peso de los frutos y las variables edáficas. Sin embargo, el calibre y el largo del fruto sólo se correlacionaron inversamente con el pH del suelo (Tabla 8.12 anexo).

Por consiguiente, las plantas cultivadas en aquellos sitios en donde la salinidad y alcalinidad del suelo fue elevada (testigo), tuvieron un menor desarrollo fenológico que influyó en el desarrollo del fruto, siendo los mismos de menor peso y calibre. Esto queda reflejado en el coeficiente de correlación elevado entre las variables fenológicas y las variables de calidad del fruto (Tabla 8.13 anexo).

Estrato 2 (20/5-10/6). Al igual que lo analizado en el estrato 1, los frutos de los tratamientos con drenes fueron de mejor calidad. El T1 tuvo frutos de mayor peso

(300,7g) y largo (13,1cm) diferenciándose significativamente del T3 y T4 (próximos a 250g peso; 12cm largo) (P 0,05). El T2 con frutos de 289g y 12,84cm de largo solo se diferenció significativamente del T4 (P 0,05). Asimismo el T3 y T4 no se diferenciaron entre sí en peso y largo del fruto. En los calibres de los frutos, no hubo diferencia entre tratamientos (promedio 81mm drenes y 79,5mm T3), y solo los tratamientos con drenes se diferenciaron del testigo (76,7mm) (P 0,05) (Tabla 5.7).

Respecto a la correlación con las variables edáficas (Tabla 8.12 anexo), solo fue significativa entre el largo del fruto y la salinidad ($r=0,52$) y concentración de Na^+ ($r=0,54$). Asimismo, cabe destacar que las plantas de mayor altura y de mayor calibre de tallo, y por consiguiente con menor índice de ahilamiento, fueron las que presentaron frutos de mejor calidad, existiendo una correlación altamente significativa entre estas variables (P 0,01) (Tabla 8.13 anexo).

Estrato 3 (17/6-8/7). Al igual que lo analizado en los estratos anteriores, los frutos de las plantas de los tratamientos con drenes, continuaron siendo de mejor calidad. Los frutos del T1 con un peso promedio de 231,9g se diferenciaron significativamente del T3 (206,7g) y T4 (173,9g) (P 0,05), y los del T2 (212,9g) sólo se diferenciaron del testigo.

En el calibre de los frutos no se encontró diferencia entre tratamientos, y con valores próximos a 76mm se diferenciaron significativamente del testigo (70,7mm) (P 0,05). En el largo de los frutos los tratamientos con drenes (próximos a 12cm) se diferenciaron significativamente del T3 y T4 (próximos a 10,5cm) (P 0,05), que no se diferenciaron entre sí (Tabla 5.7).

El peso y calibre de los frutos se correlacionaron inversamente con la salinidad y alcalinidad del suelo. El largo del fruto además se correlacionó inversamente con las relaciones Na/K y Ca/K (Tabla 8.12).

Estrato 1						
	Peso (g)		Calibre (mm)		Largo (cm)	
T1	347,2	AB	85,9	A	15,0	BC
T2	365,4	B	84,0	A	15,3	C
T3	343,4	AB	85,1	A	13,9	A
T4	308,5	A	81,6	A	14,1	AB
Estrato 2						
T1	300,7	C	82,0	B	13,1	C
T2	289,2	BC	80,4	B	12,8	BC
T3	261,6	AB	79,5	AB	12,1	AB
T4	245,2	A	76,7	A	11,6	A
Estrato 3						
T1	231,9	C	77,9	B	11,7	B
T2	212,8	BC	74,9	B	11,6	B
T3	206,7	B	74,6	AB	10,8	A
T4	173,9	A	70,7	A	10,1	A

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre si (p: 0,05).

Tabla 5.7. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2009.

En síntesis, los tratamientos con drenes presentaron mejor calidad de fruto en todos los estratos. La diferencia entre el testigo y los drenes se mantuvo durante toda la cosecha, acentuándose hacia el final de la misma (E3).

Al inicio de la cosecha, la salinidad y sodicidad del suelo solo afectaron el peso del fruto, al finalizar la misma, todas las variables de calidad del fruto fueron afectadas por las características edáficas.

5.2.1.2. Año 2010

En la **Tabla 5.8** se presentan los valores de peso, calibre y largo del fruto. Al igual que en el 2009 el análisis de cosecha se dividió en tres estratos conforme al crecimiento del cultivo y de los frutos.

Calidad de frutos

Estrato 1 (5/5-28/5)_. Los tratamientos presentaron frutos de mayor peso (próximos a 342g) y se diferenciaron significativamente del testigo (P 0,05). Los frutos, fueron más largos en el T1 y T3 (próximos a 14mm) con diferencia significativa respecto del testigo (12,7mm).

Al igual que en el 2009 en el primer estrato, en el calibre del fruto no hubo diferencia entre tratamientos y entre estos y el testigo, no obstante los tratamientos presentaron mayor valor (Tabla 5.8).

Estrato 2 (10/6-22/6)_. No se encontró diferencia significativa entre tratamientos y entre estos y el testigo para las variables de calidad de fruto.

Estrato 3 (2/7-21/7)_. Los tratamientos con drenes tuvieron mayor peso de fruto. El T1 (258,9g) se diferencia significativamente del testigo (223g) (P 0,05). Asimismo, el calibre de los frutos de los tratamientos con drenes fue mayor (próximos a 81mm) con diferencia del testigo (76,1mm) (P 0,05). No hubo diferencia en el largo de frutos.

No se encontró correlación entre las variables de calidad del fruto y las características edáficas y las características fenológicas de las plantas, para ninguno de los estratos evaluados.

Estrato 1						
	Peso ()		Calibre (mm)		Largo (cm)	
T1	349,4	B	85,8	A	14,3	B
T2	336,2	B	84,3	A	13,5	AB
T3	342,4	B	84,7	A	13,7	B
T4	311,6	A	82,7	A	12,7	A

Estrato 2						
	Peso ()		Calibre (mm)		Largo (cm)	
T1	293,0	A	82,8	A	13,2	A
T2	296,6	A	84,0	A	13,4	A
T3	300,8	A	83,6	A	13,4	A
T4	272,9	A	80,7	A	13,5	A

Estrato 3						
	Peso ()		Calibre (mm)		Largo (cm)	
T1	258,9	B	81,0	B	12,7	A
T2	250,6	AB	81,2	B	12,1	A
T3	237,8	AB	79,5	AB	12,1	A
T4	223,0	A	76,1	A	12,1	A

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 5.8. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2010.

En síntesis, en general los frutos correspondientes a las plantas de los tratamientos con drenes tuvieron mejor calidad, aunque solo presentaron diferencia significativa en algunas cosechas. Por consiguiente, si bien se mantuvo la diferencia manifestada en el 2009 entre los drenes y el T3 y T4, este año no fue tan acentuada.

Al igual que lo analizado en fenología, no se encontró correlación con las variables edáficas del suelo, esto se pudo deber a que las diferencias en las variables edáficas entre sitios no fueron tan marcadas como en el 2009.

5.2.1.3. Año 2011

En la **Tabla 5.9** se presentan los valores de peso, calibre y largo del fruto. Al igual que en los años anteriores el análisis de la cosecha se dividió en tres estratos de evolución. En las Tablas 8.14 y 8.15 (anexo) se presentan las correlaciones de estas variables (calidad del fruto) con las variables edáficas superficiales y con las variables fenológicas, respectivamente.

Estrato 1 (11/5-26/5). Al igual que lo observado en el 2010, los tratamientos presentaron frutos de mayor peso (próximos a 370g), diferenciándose significativamente del testigo (302,1g) (P 0,05).

Las características fenológicas del cultivo influyeron significativamente en esta variable ($r > 0,75$; P 0,01) (Tabla 8.15 anexo). Así plantas que tuvieron mejor desarrollo (altura, área foliar, calibre del tallo), presentaron frutos de mayor tamaño. Cabe destacar, como se ha mencionado (punto 5.1.3), que la concentración de Na^+ en el suelo y su relación con la concentración de K^+ , afectaron el desarrollo fenológico del cultivo; y por lo tanto condicionan esta variable (peso del fruto), esto queda reflejado en el coeficiente de correlación ($r=0,59$; P 0,01) (Tabla 8.14 anexo).

El calibre de los frutos fue mayor en el T1 (112,1mm) diferenciándose significativamente del resto (próximos a 100mm) (P 0,05) (Tabla 5.9). Al igual que lo

observado en el peso de los frutos, se presentó una correlación significativamente con las variables fenológicas del cultivo ($r > 0,60$; $P 0,01$) (Tabla 8.15 anexo) y con la relación Na/K ($r -0,50$; $P 0,01$) (Tabla 8.14).

No se presentó diferencia significativa en el largo de los frutos entre sitios (Tabla 5.9).

Estrato 2 (1/6-17/6). El peso de los frutos fue mayor en el T1 (359,2g) y se diferenció significativamente ($P 0,05$) del T2 y del testigo (próximos a 295g). En el largo y calibre de los frutos no se presentó diferencia significativa, entre sitios (Tabla 5.9).

No se encontró correlación entre las variables de calidad del fruto y las características edáficas y fenológicas del cultivo.

Estrato 3 (24/6-27/6). No se encontró diferencia significativa entre tratamientos y entre estos y el testigo para las variables de calidad de fruto (Tabla 5.9). Asimismo, no se encontró correlación entre las variables de calidad del fruto y las características edáficas.

Estrato 1						
	Peso (g)		Calibre (mm)		Largo (cm)	
T1	391,2	B	112,1	B	15,4	A
T2	364,9	B	102,5	A	14,5	A
T3	358,5	B	98,5	A	15,1	A
T4	302,1	A	94,5	A	14,5	A
Estrato 2						
T1	359,2	C	87,4	A	14,4	A
T2	308,0	AB	81,7	A	14,6	A
T3	342,5	BC	88,0	A	14,4	A
T4	282,2	A	81,4	A	13,3	A
Estrato 3						
T1	271,3	A	80,8	A	12,6	A
T2	271,8	A	77,9	A	13,1	A
T3	248,6	A	78,9	A	12,1	A
T4	245,6	A	79,2	A	12,8	A

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí ($p: 0,05$).

Tabla 5.9. Valores correspondientes al peso (g), calibre (mm) y largo (cm) de los frutos. Tratamientos y testigo, año 2011.

En síntesis, el T1 presentó la mejor calidad de fruto en todos los estratos, aunque en los superiores no se presenta diferencia significativa. Por el contrario, el testigo presentó la menor calidad de fruto. Al finalizar de la cosecha (Estrato 3) la diferencia entre tratamiento y entre estos y el testigo se hace mínima, sin presentar diferencia significativa.

En el estrato inferior (estrato 1) la calidad de los frutos estuvo correlacionada con la relación Na/K y con el desarrollo fenológico del cultivo.

En conclusión, la calidad de fruto evaluada en peso, largo y calibre del mismo, fue afectada por las características edáficas y el crecimiento fenológico del cultivo.

Inicialmente año 2009, en donde se encontró mayor amplitud entre sitios para las variables edáficas, principalmente salinidad y concentración de sodio soluble, los tratamientos con drenes presentaron mejor calidad de frutos respecto del testigo. Esta diferencia entre los tratamientos se mantuvo durante todo el periodo evaluado, sin embargo a hacia el final del ensayo, cuando se produjo una homogenización de la salinidad en todo el sitio productivo, las diferencias en calidad de fruto fueron menos acentuadas.

Cabe destacar, que de todas las variables de calidad de fruto evaluadas, el peso del mismo fue el que reflejó mejor la diferencia entre sitios, por consiguiente el que se vio mas afectado por las condiciones edáficas del sitio.

5.2.2. Rendimiento

En la **Tabla 5.10** se presentan los valores de rendimiento para los tratamientos y el testigo para los tres años de evaluación.

Año 2009_. Los tratamientos con drenes tuvieron un rendimiento más alto con diferencia significativa respecto del T3 y T4 (P 0,01). Asimismo el T3 y T4 se diferenciaron significativamente entre sí (P 0,01). Por consiguiente, tal como se analizó en el punto 5.1.1 las variables edáficas afectaron el crecimiento del cultivo y en consecuencia el desarrollo de los frutos, afectando no solo la calidad de los mismos, sino también la producción final. Consecuentemente, los tratamientos con drenes durante el primer ciclo analizado presentaron un rendimiento mayor.

Cabe destacar que los rendimientos obtenidos, fueron menores a los comúnmente registrado en la región de estudio (promedios entre 90-120 t.ha⁻¹) (Kebat y Riccetti 2006)

Año 2010_. Los tratamientos tuvieron un rendimiento más alto con diferencia significativa respecto del testigo (P 0,05). Los tratamientos con drenes tuvieron un mejor comportamiento. En este año desapareció la diferencia con el T3, pero continúa con el testigo, aunque la misma no es tan acentuada.

Año 2011_. Al igual que lo observado en el 2010, los tratamientos tuvieron un rendimiento más alto con diferencia significativa respecto del testigo (P 0,01). Cabe destacar, que las diferencias en las variables edáficas entre sitios se manifestaron con menor intensidad, en consecuencia las diferencias en el desarrollo del cultivo y el rendimiento también fue menos acentuado.

	Rendimiento (t.ha ⁻¹)					
	2009		2010		2011	
T1	103	A	108	A	125	A
T2	104	A	106	A	117	A
T3	76	B	105	A	122	A
T4	62	C	97	B	102	B

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 5.10. Rendimiento (t.ha⁻¹) del cultivo para los tres años de evaluación. Comparación tratamientos y testigo

Deficiencias nutricionales en frutos

Blosson end rot (BER). Como se ha mencionado en el punto 4.3.3.1 BER es una deficiencia por falta de Ca^{2+} en los frutos, que se manifiesta visualmente como una necrosis apical. Las causas de la baja absorción de Ca^{2+} por parte del cultivo son diversas, siendo una de las más importantes la baja disponibilidad de Ca^{2+} , ya sea por baja concentración o por interacción con otros cationes del suelo (Bar-Tal y Pressman 1996). Si bien, como se ha mencionado en el punto 4.3.1.1 el nivel de Ca^{2+} fue adecuado para el crecimiento del cultivo, la elevada concentración de Na^+ , principalmente en el testigo pudo haber influenciado en su disponibilidad (Nuez et al. 1996). Así, en dicho testigo, aunque su incidencia fue muy baja, se observaron en julio de 2009 algunos frutos aislados con BER (Figura 5.1).



Figura 5.1. Frutos con blossom end rot en julio de 2009, en el testigo.

5.3. Análisis económico

En el punto 5.2.2 se ha realizado un análisis del rendimiento del cultivo y en la **Tabla 5.10** se presentaron los valores obtenidos en t.ha^{-1} en cada sitio de evaluación. En este punto se realizará un análisis comparativo de los rendimientos obtenidos entre los tratamientos y el testigo, como así también la incidencia que tuvo la instalación de los drenes en el costo de producción.

En la **Tabla 5.11**, se presenta el incremento del rendimiento, en porcentaje (%) de los tratamientos respecto del testigo, para todos los años de evaluación. En la misma se puede observar que la mayor diferencia se encontró en el año 2009, los tratamientos con drenes tuvieron un 68% más de producción, y el tratamiento con yeso un 22% más, respecto del testigo. Tal como se analizó en el punto 5.2, este aumento en el rendimiento se vincula con las mejoras en las características edáficas.

En los años siguientes los rendimientos no difirieron tan marcadamente, ya que el testigo tan sólo fue menor en un 8% en el 2010 respecto a los tratamientos, y un 17% en el 2011 (Tabla 5.11). Esta menor diferencia entre los tratamientos y el testigo, y la ausencia de diferencia entre tratamientos (T1 y T2 vs T3), se puede adjudicar al efecto positivo de los drenes en todo el sitio, con una mejora generalizada en la salinidad

(punto 4.2.1). Así, como se ha mencionado en el punto 5.2.2 en el primer ciclo de evaluación (2009), el testigo con un rendimiento promedio de 60 t.ha⁻¹ no alcanzó los rendimientos promedios que se obtienen en la región de estudio (90 t.ha⁻¹, Kebat y Riccetti 2006). Sin embargo, en los siguientes años el testigo aumentó el rendimiento llegando a 100 t.ha⁻¹. Esto si bien se pudo deber a la variedad utilizada, es muy posible que se pueda adjudicar a la mejora de los drenes en las características edáficas de todo el sitio de estudio.

Cabe destacar, que si bien como se ha analizado en puntos anteriores (5.2), hubo en algunas variables del cultivo y de la calidad del fruto, diferencias según el diámetro de los drenes (T1 y T2), no obstante en el rendimiento final esta diferencia no se vio reflejada.

	2009	2010	2011
T1 y T2	68	8	17
T3	22	8	17

Tabla 5.11. Incremento (%) del rendimiento de los tratamientos en comparación con el testigo, en cada año de evaluación.

En la **Tabla 5.12**, se presentan los gastos de instalación en el año 2009, de los drenes en un invernáculo tipo (460m²), y el ingreso (bruto) extra de acuerdo al incremento de la producción (68% más respecto del testigo) (Tabla 5.11) en ese mismo año. Se puede observar que el costo total de instalación de dos drenes de 10cm diámetro, separados por 5m entre sí fue para el 2009 de \$5.700. Asimismo el aumento del rendimiento (respecto del testigo) se reflejó en un ingreso bruto extra de \$8.000. Por lo tanto, con el incremento del rendimiento del primer año se financió la instalación del sistema de drenaje.

Cabe destacar, que no se han actualizado los datos y que no se realizó un análisis más minucioso de los mismos, ya que con el análisis presentado solo se quiere visualizar si económicamente fue factible la instalación de los drenes, y en que tiempo el productor recupera el capital invertido.

	Año 2009
Drenes	\$ 2.500
Piedra granítica	\$ 2.200
Preparación terreno	\$ 1.000
Gasto total	\$ 5.700
Ingreso bruto extra drenes	\$ 8.000
Diferencia	\$ 2.300

Tabla 5.12. Costo de instalación e ingreso bruto por la instalación de los drenes en el año 2009.

En síntesis, con la instalación de los drenes hubo un incremento significativo del rendimiento en el 2009, y un incremento generalizado de los rendimientos en todo el sitio en los años posteriores. En consecuencia, solo con la mejora obtenida en la producción en el 2009 se financia la instalación de los mismos.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones parciales

Salinidad_. Desde el inicio del ensayo, solo en el sitio donde se instalaron los drenes no se produjeron los picos salinos característicos de la región de estudio. Asimismo se produjo un descenso generalizado de la salinidad con una homogenización de todo el sitio productivo.

Sodicidad_. La sodicidad medida en RAS, presentó variaciones entre sitios que en general no puede atribuirse a los tratamientos implementados. El origen probable de dicha variabilidad se debe al manejo del agua de riego ya que la misma es de tipo bicarbonatada sódica con alta RAS. Asimismo, los cationes solubles presentaron una elevada variabilidad entre fechas y sitios de muestreo, siendo el Na^+ el que prevaleció principalmente en el testigo.

El tratamiento testigo presentó en general mayores concentraciones de Na^+ y Ca^{2+} soluble, asociadas con una mayor salinidad. Por el contrario, en los tratamientos con drenes hubo un descenso en la concentración de Na^+ ; la concentración de Ca^{2+} soluble en dichos tratamientos se mantuvo en forma similar durante todo el periodo evaluado con niveles adecuados para el crecimiento del cultivo.

En el PSI y los cationes intercambiables, no hubo una tendencia clara en el comportamiento entre sitios y en general no varió como si ocurrió con la RAS. En consecuencia, en sistemas productivos intensivos en suelos con elevada proporción de arcillas y dentro de estas con importante proporción de tipo expandible, la medición de cationes solubles y la RAS resulta más adecuada para visualizar cambios en el suelo que se producen en el corto tiempo.

Reacción del suelo_. El pH no presentó variaciones atribuible a los tratamientos ensayados sino al manejo del fertirriego. Se produjo sólo durante el desarrollo del cultivo un descenso del nivel, atribuible a la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, una vez finalizada la fertilización, retoma a los niveles iniciales. Igualmente, la fertilización si bien bajo el pH, no permitió mantenerlo en un rango óptimo.

Conductividad hidráulica_. No hubo una disminución de la K_s atribuible a la menor salinidad general que generan los drenes, aún manteniendo elevada la RAS.

Nutrición del cultivo_. La disminución de la salinidad en drenes y en el ensayo en general, no se reflejó en una disminución de cationes solubles a concentraciones que afecten la nutrición del cultivo. Por el contrario, los elevados niveles de Na^+ , encontrados en el testigo pueden haber sido responsables de la disminución de rendimientos.

Diámetro de los drenes_. No se encontró un patrón claro que haga inferir un mejor comportamiento de un diámetro respecto de otro.

Distanciamiento entre drenes_. Los drenes fueron instalados a una distancia preestablecida de acuerdo al tamaño del invernadero. Sin embargo, la mejora generalizada que se visualizó en todo el sitio de estudio hace inferir que se pueden instalar a una mayor distancia entre sí.

Yeso_. No se encontró un efecto general positivo de la aplicación de esta enmienda, ya que si bien disminuyó temporalmente la salinidad no logró disminuir la concentración de Na^+ ni soluble ni intercambiable, ni evitó en algunas fechas la presencia de picos salinos. En consecuencia el agregado de yeso sin la implementación de otras prácticas, en suelos con elevada proporción de arcillas y deficiente drenaje, no permite disminuir la salinidad y sodicidad del suelo.

Cultivo_. La disminución de la salinidad condujo a un mejor desarrollo del crecimiento del cultivo, que se vio reflejado en el rendimiento final del mismo. Los pulsos salinos manifestados en el testigo hicieron que el rendimiento fuera menor.

6.2. Conclusiones generales

El uso de drenes subsuperficiales, en el techo del horizonte Bt, condujo a una disminución de la salinidad, y aumento del rendimiento y calidad de fruto, del cultivo de pimiento protegido, con independencia del diámetro del dren utilizado.

El tratamiento con yeso, presentó un comportamiento variable, siendo en ocasiones semejante a lo observado en drenes aunque en otras situaciones se asemejó al testigo.

El efecto de drenes se manifestó incluso en el testigo, hacia el final del ensayo se produjo una mejora general de la salinidad.

En otras variables, pH, RAS, no hubo mejoras en ningún caso, se mantuvo en un mismo orden de valores asociado a la calidad del agua de riego, bicarbonatada sódica.

6.3. Recomendaciones de investigación y manejo

En base a los resultados obtenidos se indican a continuación algunas líneas de investigación y desarrollo que podrían ampliar y completar lo obtenido en la presente tesis:

_. Estudiar la distancia máxima entre drenes de modo que estos funcionen evitando la acumulación de agua y sales, considerando que en base a lo aquí obtenido, un dren podría ser suficiente para un invernadero promedio de 420m^2 , en la zona de estudio.

_. Evaluar el efecto de la aplicación de yeso en un suelo en el cual previamente se ha instalado un sistema de drenaje.

_. Evaluar si es posible reemplazar el dren de PVC por otro material, que sea de menor costo, biodegradable a largo plazo, y que sea material de desecho de establecimientos flori-hortícolas, tal como las cañas que se utilizan como tutor de plantas.

_. Evaluar el uso de drenes manejado conforme a prácticas frecuentes, respecto a un manejo ajustado del fertirriego, abonos orgánicos, manejo de cultivos y del suelo. Tal como se menciona en Capítulo 2, existen alternativas de manejo que podrían contribuir a controlar la problemática instalada en la región y que es la que procura mejorar los drenes. Sin embargo, el manejo apropiado para evitar todo lo denunciado, no ha sido hasta la fecha adecuadamente ajustado en todas sus variables.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcazar Ocampo, J. 2010. Manual Básico “Producción de hortalizas”. 30p.
- Alconada, M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencia do Solo, Águas de Lindóia. SP, Brasil.
- Alconada, M. y L. Huergo. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, NOA, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- Alconada, M.; L. Giuffre; L. Huergo y C. Pascale. 1999. Suelos hiperfertilizados con Fósforo. Cultivo de tomate en invernáculos. Actas XIV. Congreso Latinoamericano de C. Suelo. Chile
- Alconada, M. y J. Zembo. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. 1er Joint World Congress on Groundwater. Brasil.
- Alconada, M.; L. Giuffre; L. Huergo y C. Pascale. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 343-347p.
- Alconada, M. 2004. Desinfección del suelo con vapor. Efectos sobre la nutrición de los cultivos. Proyecto Tierra Sana MP/ARG/00/033. Ed. INTA. 124p.
- Alconada, M.; L. Giuffré; P. Poncetta; S. Barragán; E. Inda y M. Cuellas. 2004a. Fósforo en suelo, su efecto en la productividad del cultivo de tomate protegido. II Simposio Nacional sobre suelos vertisólicos. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina.
- Alconada, M.; A. Mitidieri; S. Barragán; P. Poncetta; E. Inda y M. Cuellas. 2004b. Tomate protegido: efecto de la nutrición nitrogenada sobre el suelo y el rendimiento. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Cartagena de India, Colombia.
- Alconada, M.; P. Poncetta; M. Cuellas; S. Barragán; E. Inda y A. Mitidieri. 2006. La fertirrigación en cultivo de tomate protegido (*Lycopersicon esculentum*): consecuencias ambientales, productivas y económicas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, y I Reunión de Suelos de la región Andina. Salta, Argentina.
- Alconada, M. 2010. Impacto ambiental en los sistemas intensivos. Estudio de caso, Gran La Plata. Informe posgrado Ciencias del Suelo.
- Alconada, M.; M. Cuellas; P. Poncetta; S. Barragán; E. Inda y A. Mitidieri. 2011. Fertirrigación en un cultivo de tomate protegido: I-Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. Revista Horticultura Argentina. Vol 30 N° 72.
- Adlercreutz, E. 2009. Alternativas químicas al bromuro de metilo. Proyecto Tierra Sana MP/ARG/00/033. Ed. INTA. 50p.
- Alemán, F.; C. Nieves; M. Martínez y F. Rubio. 2009. Potassium/sodium steady- state homeostasis in *Thellungiella halophila* and *Arabidopsis thaliana* under long-term salinity conditions. *Plant Science*, 176: 768–774p.

- Alpi, A. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en invernadero. 3ra edición. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 172p.
- Amma, A. y G. Cascardo. 1997. Lechuga: Producción en sistemas de cultivos sin suelo. Boletín Hortícola, F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs As. Año 5. Nro 15:13-15p.
- Amma, A. y C. del Parco. 2007. Efecto de la aplicación de dosis crecientes de potasio sobre el rendimiento y calidad de tomate cultivado en invernadero. II. Tomate redondo común. 30° Congreso Argentino de Horticultura. 1° Simposio Internacional sobre cultivos protegidos. La Plata. Bs As.
- Andreau, R.; P. Gelati; M. Provaza; D. Bennardi; D. Fernández y M. Vázquez. 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. Alternativas de tratamiento. Ciencia del suelo. Vol.30, N°2.
- Andriani, J. 2009. Impacto del agua de riego sobre las propiedades químicas del suelo. Revista para mejorar la producción 41. INTA EEA Oliveros. Maíz.
- APHA, AWWA, WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vol 17. Washington, DC.
- Auge, M. y M. Nagy. 1999. Estado del agua subterránea respecto a la contaminación con agroquímicos en La Plata, Prov. de Buenos Aires. Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica. V13: 203-211p.
- Auge, M. 2004. Regiones Hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. La Plata. 112p.
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/indexm.htm>
- Ayers, R. S. y D. W. Wescott. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO Riego y Drenaje 29. 174p.
- Azofeifa, A. y M. Moreira. 2005. Absorción y distribución de nutrientes en plantas de chile dulce (*Capsicum annum* cv UCR 589) en Ajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(1):77-84p.
- Báez, A. 1999. Calidad y cantidad de agua para riego en el área de la CEI Barrow. En: Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. Monografía presentada como requisito para optar al grado académico de Especialista en Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. de Mar del Plata, Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce, 56p.
- Balcaza, L.1996. Fertirrigación en cultivos hortícolas. Boletín Hortícola, F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs.As. Nro. 12: 7-10p.
- Balcaza, L. 2000. Utilización de ácidos en fertirriego. Boletín Hortícola, F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs.As. Año 8. Nro. 26:13-15p.
- Balcaza, L. 2001. Aplicación de yeso en suelos de invernáculo cultivados con hortalizas. Boletín Hortícola. F.C.A, UNLP-INTA, Gran Bs As. Año 9. Nro. 30: 4-6p.
- Balcaza, L. 2004. Cultivo sin suelo. E-Campo.com.
<http://www.e-campo/media/news/nl/althorticultura22.htm-21k>

- Bar-Tal, A. y E. Pressman. 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake, and blossom-end rot in greenhouse tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (4): 649-655p.
- Bar-Tal, A.; B. Aloni; L. Karni; J. Oserovitz; A. Hazan; M. Itach; S. Gantz; A. Avidan; I. Posalski; N. Tratkovski y R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. I Effects of nitrogen concentration and NO₃:NH₄ ratio on yield, fruit shape, and the incidence of Blossom-end rot in relation to plant mineral composition. *HortScience* 36(7):1244-1251.
- Bar-Tal, A. y B. Aloni. 2005. Effects of fertigation regime on blossom end rot of vegetable fruits. *International Symposium on fertigation*. Beijing China, 20-24p.
- Béjar, M. 2005. Drenaje. Ed. tecnológica de CR. 535p.
- Ben-Gal, A.; E. Ityel; L. Dudley; S. Cohen; U. Yermiyahu; E. Presnov; L. Zigmond y U. Shani. 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and n leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agricultura water management* 95(2008) 587-597p.
- Benton Jones, J. 2007. Tomato plant culture. In the field, Greenhouse, and Home Garden. CRC Press LLC. 2ª Edición. 399 p.
- Bocero, S. 2002. Cultivos protegidos y problemas ambientales: Un estudio de la horticultura marplatense en la década del noventa. Tesis de maestría en ciencias sociales. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional de Mar del Plata. 100p.
- Bouzo, C.A.; N.F. Gariglio; J.C. Favaro y N. Vera Candiotti. 2009. Caracterización y análisis técnico de los invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe. *Horticultura Argentina* 28(67): Sep.-Dic.
- Cabrera, A.; J. Arzuaga y M. Mojena. 2007. Desbalance nutrimental del suelo y efecto sobre el rendimiento de tomate (*Lycopersicum solanum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido. *Cultivos Tropicales*. Vol 28 N°3, Pág. 91-97p.
- Cadahia López, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prens. 475 p.
- Carluccio, C.; M. Lenscak; M. Panelo; M. Colombo; S. Cáceres; N. Molina; E. Scaglia y C. Pernuzzi. 2002. Desarrollo Actual de los Cultivos Protegidos en la República Argentina. En: Díaz Álvarez, R. y López Gálvez, J. ED. Situación de la Agroplasticultura en Países Iberoamericanos. Tercera Reunión de Coordinación de Caracas, Venezuela, Cytel, Almería, España. 30-71p.
- Carranza, C.; O. Lanhero y D. Miranda. 2008. Comportamiento de los nutrientes en un tejido foliar en brócoli (*Brassica oleracea* var *italica*) Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la sabana de Bogotá. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. Vol 2-N° 1. 66-75p.
- Castiglioni, M.; H. Morras; O.J. Santanatoglia y M.V. Altinier. 2004. Análisis de la contracción de los agregados de distintos horizontes de Argiudoles de La Pampa

Ondulada. XIX Congreso Argentino Ciencias de Suelo. Paraná, Entre Ríos (trabajo en CD 10p).

- Castiglioni, M.; H. Morrás; O. Santanatoglia y M. Altinier. 2005. Contracción de agregados de arguidoles de La Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía de arcillas. Ciencias Suelo (Argentina) 23(1) 13-22p.
- Castiglioni, M. y H. Morrás. 2007. Uso del análisis digital de imágenes para el estudio de la porosidad de la zona no saturada de Arguidoles de Argentina. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VIII. 6p.
- Castilla, N. 2007. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Ed. Mundi Prensa 2da edición. 462p.
- Censo Nacional Agropecuario (CNA). 1998.
www.indec.mecon.ar/agropecuario/cna_principal.asp
- Censo Nacional Agropecuario (CNA). 2002.
www.indec.mecon.ar/agropecuario/cna_principal.asp
- Censo Provincial hortiflorícola de la provincia de Buenos Aires (CHFBSAS). 2005.
www.estadistica.laplata.gov.ar
- Chartzoulakis, K. y G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Scientia horticulturae 86(2000) 247-260p.
- Colombo, M.; V. Mollinedo y A. Tapia. 2009. Solarización, antecedentes y experiencias en La Argentina. Proyecto Tierra Sana, MP/ARG/00/033. Ed. INTA. 30p.
- Coras Merino, M.P. 2006. Modelo matemático para estimar el espaciamiento entre drenes subterráneos en régimen transitorio. Terra Vol 24, N°3.
- Costa, J.L.; y V. Aparicio. 1999. Efecto de la calidad del agua sobre las propiedades químicas y físicas de suelos bajo riego suplementario en el sud-este de la provincia de Buenos Aires en la República Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre, 82p.
- Coulombe, C; L.Wilding y J. Dixon. 1996. Overview of Vertisols: Characteristics and Impacts on Society Clement E. Advances in Agronomy, Volume 57, 1996, 289-375p.
- Crescimanno, G. y M. Iovino. 1995. Evaluating the effects of using saline-sodic Solutions on the hydraulic characteristics of soil. Proc. Intern. Symp of Water quality Modeling: 51-58p.
- Cuellas, M. y M. Alconada. 2010. Diagnóstico de la nutrición de Ca-K en cultivos intensivos en extractos de suelo obtenidos en laboratorio y a campo. XXII. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.
- Cuellas, M. y P. Delmazzo. 2013. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en un cultivo hortícola bajo cubierta. XXXVI Congreso Argentino de horticultura ASAO. II Congreso Internacional de plásticos. Tucumán. Argentina.

- De Pascale, S.; C. Ruggiero; G. Barbieri y A. Maggio. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of the America Society for horticultural Science*. 128(1):48-54p.
- del Pino, M.; M. Cuellas; M. Alconada; P. Poncetta; A. Castillo y J.C Zembo. 2006. Efecto de diferente tipo y dosis de lombricompuestos sobre el suelo, la producción, el crecimiento y la calidad del cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*. Duch) en un suelo Argiudol vértico en La Plata”. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la región Andina. Salta. Argentina.
- Díaz, E. L; O. Duarte y C. Ricciardi. 1991. Tecnología de tierras y aguas I. Cap. 15: Teoría del drenaje.15p. Libro. www.pdfactory.com
- Douglas, J.T. y M. J. Goss. 1982. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil & Tillage research*, 2. 155-175p.
- Duchaufour, Ph. 1984. Edafología, edafogénesis y clasificación. Masson. SA. Barcelona. 493p.
- Estrada, E. 2001. Disponibilidad de calcio, magnesio y azufre, su análisis en suelos y plantas y su interpretación. Bogotá. Ed Silva M. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá.85–104p.
- Etchevehere, P.H. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. Publicación Nro 152. INTA Castelar. 222 p.
- Fagundo Sierra, J; JR. Fagundo; P. González y M. Suárez. 2001. Modelación de las aguas naturales. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, Vol. VII. ISCTN, (La Habana), 959-7136-13-9.
- FAO. 1971. El drenaje de los suelos pesados. *Riego y Drenaje* 6. 114p.
- FAO. 1985. Estudios de riego y drenaje.
- FAO. 2002. Informe situación de la cadena hortícola. 38p.
- FAO. 2007. Informe Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. 130p.
- Feigin, A.; C. Ginzburg; S. Gileadi y A. Ackerman. 1986. Effect of NH_4/NO_3 ratio in nutrient solution on growth and yield of greenhouses roses. *Acta Hort*. 189,127-132p.
- Fernández Barbero, G. 2007. Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de capsoicinoides. Tesis doctoral. Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias, departamento de química analítica.
- Fernández Lozano, J. 2012. La producción de hortalizas en Argentina. Informe del Mercado Central de Buenos Aires. 29p.
- Ferrato, J. y MC. Mondino. 2008. Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo. *Revista Agromensajes*, N° 24.UNR.

- Flores, C.; S. Sarandón y N. Gragoloff. 2007. Balance simplificado de nutrientes como indicador de la sustentabilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. II Congreso Brasileiro de Agroecológica. Revista Brasileira. Agroecológica. Vol 2. N°1.
- Fontanini, P.; J. Cerana y O. Duarte. 2003. Conductividad hidráulica saturada en suelos vertisoles y entisoles. Revista Científica Agropecuaria 7(1):75-79. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Fundación Cotec. 2009. Invernaderos de plástico. 94p.
- Gambaudo, S. 2006. Calidad del yeso natural para uso agrícola. Información técnica cultivos de verano. Publicación miscelánea INTA N°106.
- Garbi, M.; M. C. Grimaldi; S. Martínez y A. Carbone. 2002. Influencia de invernaderos sobre la temperatura estival en el cinturón hortícola platense. Agrometeorología. Vol. 10, N° 1: 27-31p.
- García, M. 2012. Análisis de las transformaciones de la estructura hortícola platense en los últimos 20 años. El rol de los horticultores bolivianos. Tesis doctoral UNLP.
- Giménez, J.E.; M.A. Hurtado; M. Cabral y M. Da Silva. 1992. Estudio de suelos del partido de La Plata. Etapa I: Sector Oeste-Noroeste. Convenio Facultad Ciencias Naturales y Museo (U.N.L.P.)-Consejo Federal de Inversiones. 179 p.
- Giuffré, L.; M. Alconada; C. Pascale and S. Ratto. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. Journal Applied Horticulture V6 (1):58-61p.
- González, L. 2005. Algunas reflexiones para el manejo sostenible de los suelos afectados por salinidad. Agricultura Orgánica N° 1 del año 2005.
- González, J. y A. Amma. 1976. Manejo de suelos para producción de hortalizas. E.E.A.INTA San Pedro. Tirada interna hortícola N° 10 y 11.
- Goykovic Cortés, V. y G. Saavedra del Real. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA Chile. Vol. 25, N° 3; 47-58p.
- Grattan, S. R. y C. M. Grive. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia horticulturae 78. 127-157p.
- Grimaldi, M.; J. Somoza; S. Martínez; E. Strassera y N. Mesquiriz. 2007. Marcha de la temperatura del aire en dos invernaderos del cinturón hortícola platense durante el mes de enero de 2007. 30° Congreso argentino de horticultura. 1° Simposio Internacional sobre cultivos protegidos. La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Günes, A.; A. Inal; M. Alpaslan y Y. Cikili. 1999. Effect of salinity on phosphorus induced Zinc deficiency in pepper (*Capsicum annum L.*) plants. Tr. J. of agriculture and forestry 23(1999)459-464p.
- Gulhati, N.; y Ch. Smith. 1967. Irrigated agriculture: a historical review. In: RM
- Gupta, R.; C. Singh y I. Abrol. 1985. Dissolution of gypsum in alcali soils. Soil

Science. 140(5): 382-386p.

- Hatano, R.; H. Nakamoto; T. Sakuma and H. Okajima. 1988. Evapotranspiration in cracked clay field soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 34 (4), 547-555p.
- Havlin, J.L.; J.S. Beaton; S.L. Tisdale; and W.L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Ed. Prentice Hall. 499p.
- Hénin, S.; R. Grass y G. Monnier. 1972. *El perfil cultural*. Ed. Mundi Prensa. 342 p.
- Hernández Díaz, M.I.; M. Chailloux Laffita y A. Ojeda Veloz. 2006. Cultivo protegido de las hortalizas: Medio ambiente y sociedad. *Ciencia y Tecnología*. Vol. 10. N° 30. 26-31p.
- Herrera Puebla, J.; R. Pujol Ortiz; G. Cid Lazo; M. Mendez y R. Alarcón. 2010. Problemas de drenaje agrícola en Cuba. *Ingeniería agrícola*. Vol. I, N° 1. 68-78p.
- Hervé, D.; R. Ledesma y V. Orsay. 2002. Características y Limitaciones de los suelos salino/sódicos en el Altiplano Boliviano y Características de uso. CONDESAN,IRD; La Paz, Bolivia.
- Hochmuth, G. and K. Cordasco. 2008. A summary of N, P, and K Research with Tomato in Florida. Series, Horticultural Sciences Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. HS 759. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Hurtado, M.; J. Gimenez y M. Cabral. 2006. *Análisis Ambiental del partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento territorial*. Ed. Ira. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones. 134p.
- Ilyas, M.; R.H. Qureshi y M. A. Qadir. 1997. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil technology* Vol 10, Issue 3. 247-260p.
- Imbellone, P.; J. Giménez y L. Panigatti. 2010. *Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación*. Ed. INTA. 320p.
- Instituto Nacional de Educación Tecnológica (inet). 2003. *Informe Experiencias sobre nuevas tecnologías hortícolas en cultivos bajo cubierta*. Centro regional de Educación tecnológica La Pampa. 75p.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2000. Traducción al español por AICET, Área de Investigaciones en Cartografía y Evaluación de Tierras, Castelar, del *Field Book for Describing and Sampling Soils*. National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agricultura. Lincoln, Nebraska.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2011a. *Diagnóstico de la cadena de valor florícola en el área del centro regional Buenos Aires norte PTR 2012- 2015*.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2011b. *Diagnóstico territorio Periurbano Sur. EEA AMBA. Centro regional Buenos Aires norte PTR 2012- 2015*.
- Kebat, C. y A. Riccetti. 2006. Margen Bruto del cultivo de pimiento bajo cubierta en La Plata. *Boletín hortícola*. Año 11. N°33.4-8p.

- Kishné, A.; C. L. Morgan and W.L. Miller. 2009. Vertisol crack extent associated with Gilgai and soil moisture in the Texas Gulf coast Prairie. SSSAJ: Volume 73: Numbre 4, July-August.
- Kishné, A.; C.L. Morgan; Y. Ge y W. Miller. 2010. Antecedent soil moisture affecting surface cracking of a Vertisol in field conditions. Geoderma 157. 109-117p.
- Korcak, R.F.1998. Agricultural Uses of Phosphogypsum, Gypsum, and Other Industrial Byproducts. Chapter 7.
- Kowalska, I. y W. Sady. 2012. Effect of nitrogen form, type of polyethylene film covering the tunnel and stage of fruit development on calcium content in sweet pepper fruits. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 11(3) 91-100p.
- Labrador Moreno. 1996. La Materia orgánica en los Agroecosistemas. Ed. Mundi Prensa. 174p.
- Lamz Piedra, A. y M. González Cepero. 2013. Review. Salinity as a problema in agriculture: plant breeding an immediate solution. Cultivos tropicales. Vol 34, N°4. 31-42p.
- Lauchli, A. and S.R. Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress. Cap 1(pp1-32) libro Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops. Edic: Springer
- León, L. A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo. Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Ed. Silva M.F. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.155-186p.
- Longo, A.; J. Ferrato; M. Mondino y R. Grasso. 2005. Incorporación de azufre y yeso en un suelo salino-sódico. Revista FAVE- Ciencias Agrarias. 4 (1-2).
- López Aguilar, R.; G. Rodríguez Quezada; A. Naranjo Murillo; L. Beltrán Morales; E. Troyo Diéguez; A. Casanova Cruz y O. Peralta Patrón. 2012. Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas. Interciencia. Vol 37, N°8.
- López Bermúdez, F y A. Romero Díaz. 1998. Erosión y desertificación: Implicaciones ambientales y estrategias de investigación. Papeles de geografía N°28. 1998. 77-89p.
- López Camelo, A. 2011. Relevamiento satelital de los invernaderos en el cinturón hortícolas de la plata. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura. Buenos Aires, Argentina.
- López Mosquera, M. y F. Macias. 1993. Salinización secundaria en suelos agrícolas de Galicia. Nova Acta científica compostelana (biología), 4. 102-110p.
- Luthin, J. 1990. Drenaje de tierras agrícolas. Ed. Limusa, S.A. México.684p.
- Magon, J.J.; E. Casas; M. Gallardo; R. B. Thompson y P. Lorenzo. 2005. Uptake concentrations of a tomato crop indifferent salinity conditions. Proc. Is on soilless cult.and hidroponics. Ed M. Urrestarazu Gavilán. Acta Hort. 697p.
- Manrique, A.; C. Jones y P Dyke. 1991. Predicting Cation-Exchange Capacity from Soil Physical and Chemical Properties. Soil Sci. Soc. Am.J. Vol. 55, N° 3.787-794p.

- Marano, R.; M. Pilatti y J. Orellana. 1999. Estudio del efecto de la calidad del agua subterránea para riego, en el centro de Santa Fe, sobre las propiedades del suelo mediante la simulación física. Ed. Trineo, A. Hidrología Subterránea. Serie de correlación geológica 13:89-90p.
- Marcelis, L. F. y L.C. Ho. 1999. Blossom end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of experimental botany*. Vol 50. N°332. 357-363p.
- Martínez Beltrán, J. 2006. Efecto de la salinidad de suelos y aguas en la agricultura de regadío y en la seguridad alimentaria. Informe FAO.
- Martínez Quintana, O.; C. Fernández Alsina; J. Lucero; L. Balcaza y R. Fernández. 1995. Proyecto Hortícola-Prohortic. Actualización del Diagnóstico EEA INTA Gran Buenos Aires .Informe interno. 23 p.
- Martínez Villavicencio, N.; C. López Alonso; M. Basurto Sotelo y R. Pérez Leal. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia*. Vol V, N°3. 156-161p.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2da Edition. Academic Press, San Diego. 889p.
- Melani, E. 2012. Alteración de las propiedades mecánicas de suelos irrigados con agua con altas concentraciones de sodio. Tesis Doctoral. Departamento de mecanización y tecnología Agraria Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politecnica de Valencia, España. 248p.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. 4ta Ed. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza.535p.
- Mogollón, J.; O. Tremont y N. Rodríguez. 2001. Efectos del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de los suelos degradados por sales. *Venesuelos* 9 (1 y 2): 48-56p.
- Molina, N.; R. Verón y J. Altamira. 2011. Producción hortícola correntina. Análisis técnico y económico del pimiento en la campaña 2010. Serie técnica N°41. Publicación de la EEA Bella Vista.
- Mollinedo, V.; A. Contini; J. Agüero y A. Borques. 2007. Efecto del aumento de la concentración de la solución de fertirriego en pimiento bajo invernadero, Faimallá (Tucumán) campaña 2006. 30° Congreso Argentino de Horticultura. 1° Simposio Internacional sobre cultivos protegidos. La Plata. Bs As.
- Munns, R. y M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59:651-681. Online at plant.annualreviews.org
- Muñoz Ramos, J.; M. Guzmán y J.Z. Castellanos. 2004. Salinidad sódica en el desarrollo vegetativo y reproductivo del pimiento. *Terra Latinoamericana*. Vol 22, N°2. 187-196p.
- Nijensohn, L. N. 1972. Influencia de la calidad del agua de riego a nivel de predio Rev. *Fac.deC.Ag. (Mendoza)*. XVIII 2: 93-116p.

- Nuez, F.; G. Ortega y J. Costa. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi prensa. 607p.
- Oneyda Hernández, L. 2000. Uso de métodos químicos-biológicos como mejoradotes de la conductividad hidráulica de un suelo salino-sódico. Tesis doctoral. Universidad de Colima, México.
- Ortiz, N. 2011. Influencia de la salinidad y la relación de Calcio/Potasio sobre el crecimiento y desarrollo del tomate cv Raf. Trabajo de fin de master. Universidad de Almería, España.
- Osorio, A. y R. Césped. 2000. Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en vid de mesa. I. Conductividad eléctrica, sodio, cloro y boro en distintos puntos del perfil. Agricultura Técnica (Chile), Vol. 60, N°2. 178-194p.
- Otero, L.; F. Ortega Sastriquez y M. Morales. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de vertisoles de la provincia Granma. Terra Vol. 16 N°3.
- Otero-Gómez, L.; V. Gálvez-Varcalcer; N. Navarro-Gómez; L. Rivero-Ramos; J. Pérez-Jimenez, y T. Guardia-Madrado. 2012. Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiante en la dispersión del suelo. Agronomía Mesoamericana 23(1):189-200p.
- Page, A.; A.H. Miller y D.R. Keeney. 1982. Methods of Soils Analys. AMER. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. AMER, Madison, Wisconsin.
- Peinemann, N.; M. Díaz Zorita; MB. Villamil; H. Lusarreta y D. Grunewald. 1998. Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. Ciencia del Suelo 16: 39-42p.
- Pérez, A.; C. Céspedes y P. Muñoz. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en Republica Dominicana. R. C. Suelo Nutr. Vegetal 8(4).10-29p.
- Pessarakli, M y I. Szabolcs. 1999. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. Handbook of plant and crop stress. 2do Ed.
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española. Madrid. 521 p.
- Pla Sentís, I. 1983. Sistema integrado agua-cultivo-suelo. Manejo para evaluar la calidad de agua de riego. International Atomic Energy Agency. Vienna: 192-206p.
- Pla Sentís, I. 1988. Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. Soil Technology 1: 13-35p.
- Pla Sentís, I. 1993. Soil Salinization and Land Desertification. College on Soil Physics. International Centre for Theoretical Physics. Trieste, Italy. 35 p.
- Pla Sentís, I. 2006a. Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 9p.
- Pla Sentís, I. 2006b. Problemas de degradación de suelos en America Latina: Evaluación de causa y efectos. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 13p.

- Polón Pérez, R.; M. Ruiz Sánchez; J. Dell Amico Rodríguez; D. Morales Guevara; E. Jerez Mompié; M. Ramirez Arrebato y L. Maqueira López. 2011. Principales beneficios que se alcanzaron con la práctica adecuada del drenaje agrícola. *Revista Cultivos tropicales*. Vol 32.Nº2. 52-60p.
- Ponce, M.B. y M. T. Duggan. 2005. *Yeso. Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. Capítulo VI. 152p.
- Poncetta, P.; M. Alconada y R. Lavado. 2006. Producción de tomate protegido en suelos decapitados con diferentes planes de fertirrigación. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta. Nro. 481.
- Porta, J.; M. López Acevedo y C. Roquero. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi Prensa. 807p.
- Ramos, N.E. y N. Peinemann. 1981. Nutrición mineral del tomate bajo riego. *Rev.Inv.Agr. INTA*. XVI (1): 33-42p.
- Reche Marmol, J. 2010. Cultivo de pimiento dulce en invernadero. Ed: Junta de Andalucía, Conserjería de agricultura y pesca. 293 p.
- Rincón, L.; J. Saez.; E. Balsalobre y M. Pellicer. 1993. Nutrición del pimiento grueso de invernadero. *Hortofruticultura* 5:37-41p.
- Rivas, I.S. 2010. "Gestión ambiental para el ordenamiento territorial del partido de Florencio Varela, Área Metropolitana de Buenos Aires". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 535-543p.
- Romaniuk, R.; L. Guiffre y R. Romero. 2010. Efecto del agregado de vermicompost sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un hapludol típico de la Pampa Deprimida. *Revista Facultad de Agronomía UBA*, 30 (1-2): 85-93p.
- Sainju, U M.; R. Dris and B. Singh. 2003. Mineral nutrition of tomato. *International Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE)*.V3 (1): 176-183p.
- Salazar Sosa, E.; M. Fortis Hernández; A. Vázquez Alarcón y C. Vázquez-Vázquez. 2003. *Abonos orgánicos y plasticultura*. Gómez Palacio, México. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, COCyTED. 233p.
- Salazar Sosa, E.; C. Vázquez Vázquez; J. Leos Rodríguez; M. Fortis Hernández; J. Montemayor Trejo; R. Figueroa Viramontes y J. López Martínez. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. *Revista Internacional de International Journal of Botanica experimental* 2004:259-273p.
- SAMLA, Sistema de apoyo metodológico de laboratorios de suelos y aguas. 2006. *Capacidad de Intercambio catiónico y cationes intercambiables*. Marbán, L.
- Sasal, C.; A. Andriulo; J. Ullé; F. Abrego y Bueno. 2000. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro norte de la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo* 18 (2).95-104p.

- SENASA. 2009. Informe pimiento. 6p.
- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la Taxonomía de suelos. USDA, Departamento de Agricultura USA. Traducción 2007. C. Ortiz, y M.C. Gutiérrez. 331p.
- Sotelo, E.; M. del C. Gutiérrez; G. Cruz; C. A. Ortiz y M. A. Segura. 2008. Historia y desarrollo de la clasificación de los vertisoles en el sistema FAO y la taxonomía. *Revista Terra Latinoamericana* 326 Vol. 26 N°4.
- Stirzaker, R.J. 1999. The problem of irrigated horticulture: matching the biophysical efficiency with the economic efficiency. *Agroforestry Systems* V45 (1-3):187-202p.
- Stupino, S.; J. Frangi y S. Sarandón. 2012. Caracterización de las fincas hortícola según el manejo de los cultivos. 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM. La Plata, Argentina.
- Supanjani, K. D. 2006. Hot pepper response to Interactive effects of salinity and boron. *Plant, soil and environment*. 52(5):227-233p.
- Szczesny, A.; E. Adlercreutz; D. Huarte; A. López Camelo; E. Manzo y L. Viglianchino. 2014. Producción hortícola bajo cubierta. 1aed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ed. INTA. 150p.
- Taylor, M.D.; S.J. Locassio y M.R. Alligood. 2004. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. *Hortscience* 39(5):1110-1115p.
- Tisdale, S.; W. Nelson; J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. Ed. Macmillan publishing company. 634p.
- Tolón Becerra, A. y X. Lastra Bravo. 2010. La agricultura intensiva del poniente almeriense. Diagnóstico e instrumentos de gestión ambiental. M+A. Revista electrónica de medio ambiente, Norteamericana. <http://revistas.ucm.es>
- Turhan, A.; V. Seniz y H. Kuscu. 2009. Genotypic variation in the response of tomato to salinity. *African Journal of biotechnology* Vol 8 (6),1062-1068p.
- Valle Mendoza, J. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annum*. L). Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Villa Costarena, M.; E. Catalán Valencia; M. Inzunza Ibarra y I. Sánchez Cohen. 2006. La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrientes en plantas de Chile. *Terra Latinoamericana*. Vol 24, N°3. 391-399p.
- Villafañe, R. e I. Pla. 1994. Efectos del riego y la lluvia sobre el desplazamiento vertical de sales en un suelo arcilloso de Venezuela. *Agronomía Tropical* 44: 707-729p.
- Virmani, S.; K. Sahrawat; y J. Burford. 1982. Physical and Chemical Properties of Vertisols and their Management. Twelfth International Congress of Soil Science, 8-16 February 1982, New Delhi, India.
- Wagner, M.; M. Mireles; L. Nieves; I. Díaz; G. Medina y E. Perdomo. 2004. Efectividad de un sistema de drenaje interno en el lavado de sales en un suelo bajo

forraje en el Asentamiento “La Linda”, estado de Carabobo. Revista digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela.

- Wilson, M y J. Cerana. 2004. Mediciones físicas en suelos con características vérticas. Revista Científica Agropecuaria 8(1):11-22. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER.
- Zhang, Y.; Y. Jiang y W. Liang. 2006. Accumulation of soil soluble salt in vegetable greenhouses under heavy application of fertilizers. Agricultura Journal 1(3):123-127p.

ANEXO

ANEXO

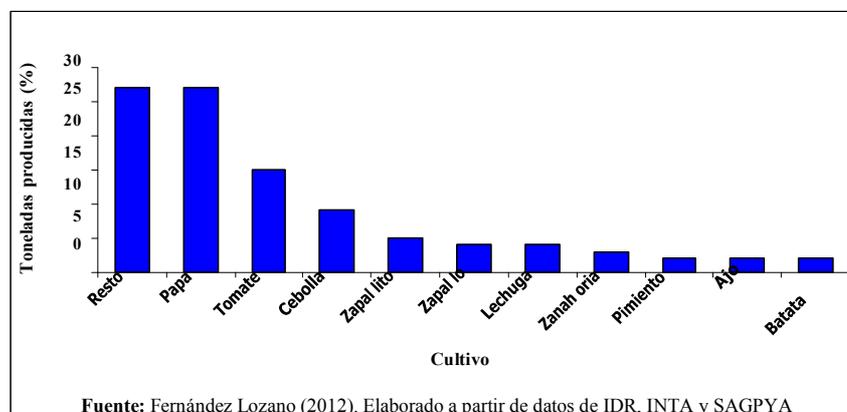


Figura 8.1. Producción en toneladas de las principales hortalizas de Argentina año 2008.

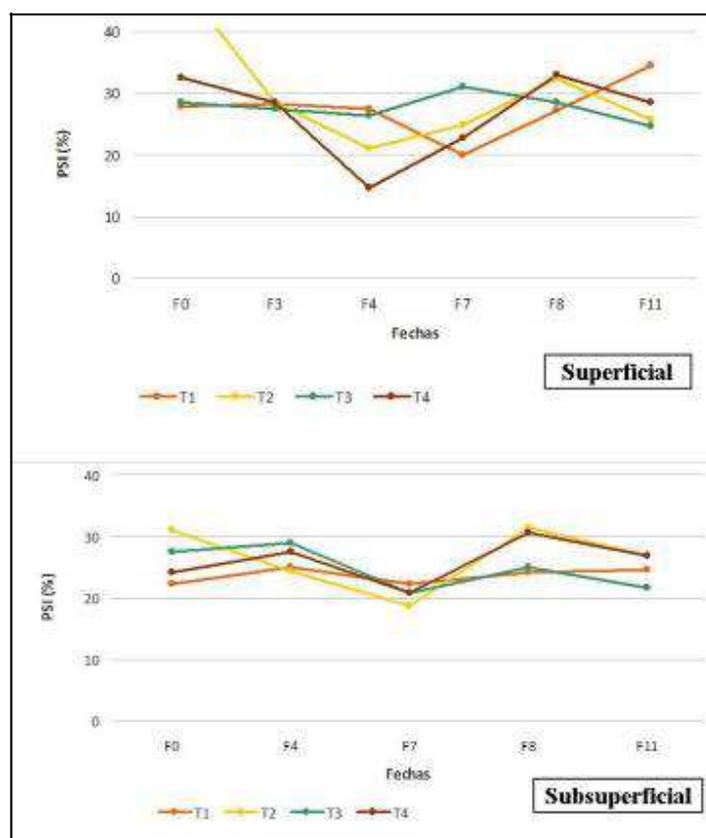


Figura 8.2. Evolución de la sodicidad (PSI) superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm) entre enero 2009 y agosto de 2011. Comparación tratamientos y testigo.

Na ⁺ (cmolc.kg ⁻¹)								
	T1		T2		T3		T4	
	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.	sup.	subsup.
F0	5,3	4,9	9,1	6,2	6,1	5,7	7,5	5,8
F3	5,2	s/d	5,6	s/d	5,1	s/d	5,4	s/d
F4	5,2	5,0	4,4	5,1	5,0	5,3	2,8	5,4
F7	4,3	4,9	5,5	4,3	6,5	4,6	4,9	4,6
F8	5,8	4,9	6,7	6,2	6,0	5,0	6,9	5,9
F11	6,6	5,0	5,4	5,1	4,8	4,1	5,5	5,1
Mg ²⁺ (cmolc.kg ⁻¹)								
F0	1,0	1,8	1,0	1,6	2,0	2,1	1,2	1,1
F3	1,0	s/d	1,0	s/d	0,8	s/d	1,0	s/d
F4	1,0	2,0	1,8	3,5	1,0	1,5	4,0	2,0
F7	3,1	1,8	1,3	1,3	1,8	2,2	1,8	2,6
F8	1,7	2,0	1,5	1,5	1,7	1,8	1,7	1,8
F11	1,5	2,3	2,0	1,3	1,5	1,6	1,5	1,3
Ca ²⁺ (cmolc.kg ⁻¹)								
F0	15,5	14,0	15,0	16,0	16,1	14,5	18,5	17,3
F3	14,5	s/d	16,5	s/d	15,0	s/d	15,5	s/d
F4	15,3	15,8	16,8	14,6	15,5	15,0	13,0	15,5
F7	15,5	14,1	17,2	14,6	15,0	13,7	17,5	16,8
F8	16,5	15,5	16,5	15,7	17,0	16,0	17,0	15,5
F11	14,7	15,5	16,5	15,8	16,0	15,5	15,8	15,4
K ⁺ (cmolc.kg ⁻¹)								
F0	1,6	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	0,7	0,7
F3	1,7	s/d	1,3	s/d	1,8	s/d	1,3	s/d
F4	1,7	1,2	1,4	0,8	1,3	0,9	1,3	0,8
F7	1,7	1,0	1,5	0,9	1,3	0,8	1,0	0,9
F8	1,7	1,8	1,5	1,3	1,3	0,8	1,1	0,9
F11	1,7	1,4	1,2	0,9	1,1	0,7	0,8	0,6
CIC (cmolc.kg ⁻¹)								
F0	19,0	22,0	19,0	20,0	21,3	20,7	23,0	24,0
F3	18,3	s/d	19,6	s/d	18,6	s/d	18,9	s/d
F4	19,0	20,0	21,0	21,0	19,0	18,3	19,0	19,5
F7	21,5	22,0	22,0	23,0	21,0	22,0	21,5	22,0
F8	21,3	20,3	19,7	19,7	20,0	20,0	19,3	19,3
F11	19,0	20,3	21,0	19,0	19,5	19,0	19,3	19,0

Tabla 8.3. Evolución superficial (0-20cm) de la CIC y los cationes intercambiables Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, para todo el periodo evaluado (enero 2009-agosto 2011). Comparación entre sitios y fechas de muestreo.

	Coeficiente de Correlación			
	T1	T2	T3	T4
PSI-RAS (0-20 cm)	0,55	0,90 *	-0,60	0,51
PSI-RAS (20-40 cm)	0,00	0,81	0,78	-0,09

*, **: Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Tabla 8.4. Coeficientes de correlación entre el PSI y la RAS, para los tratamientos y testigo, durante todo el periodo evaluado (enero 2009-agosto 2011).

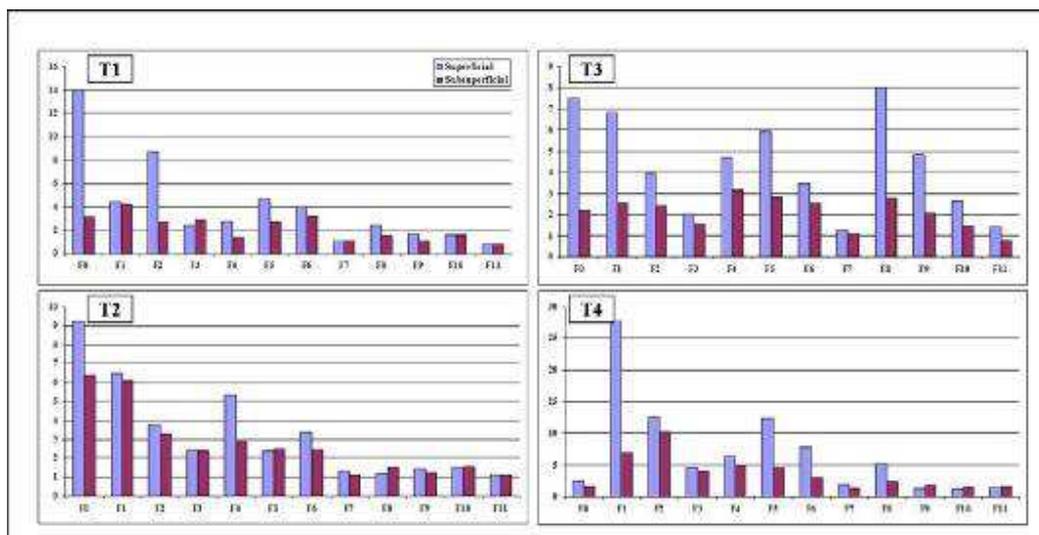


Figura 8.5. Comparación de las concentraciones superficiales y subsuperficiales de Ca²⁺ soluble, para cada sitio durante todo el periodo evaluado (enero 2009-agosto 2011).

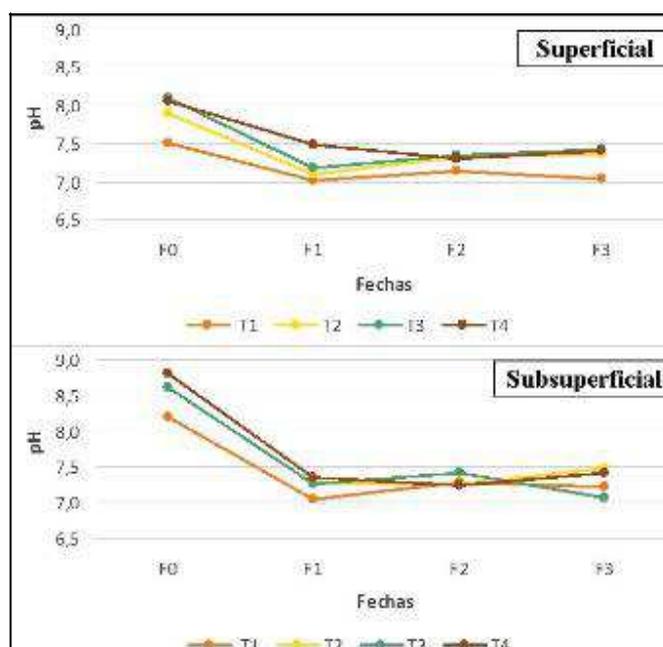


Figura 8.6. Evolución del pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), para los tratamientos y el testigo. Año 2009.

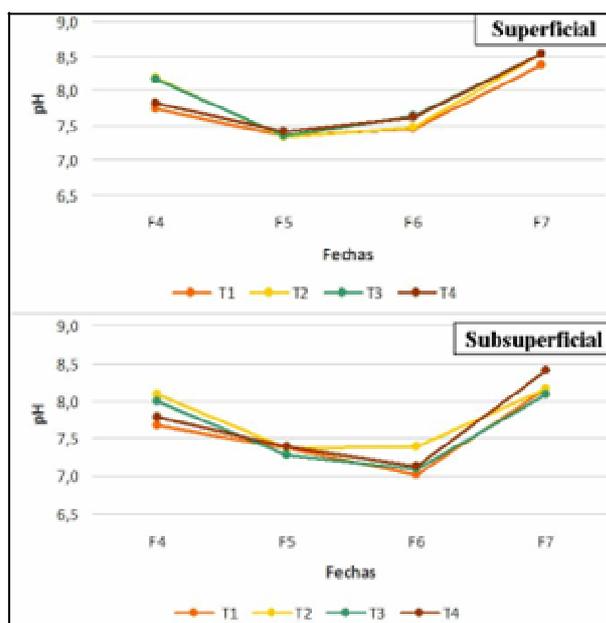


Figura 8.7. Evolución del pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), para los tratamientos y el testigo. Año 2010

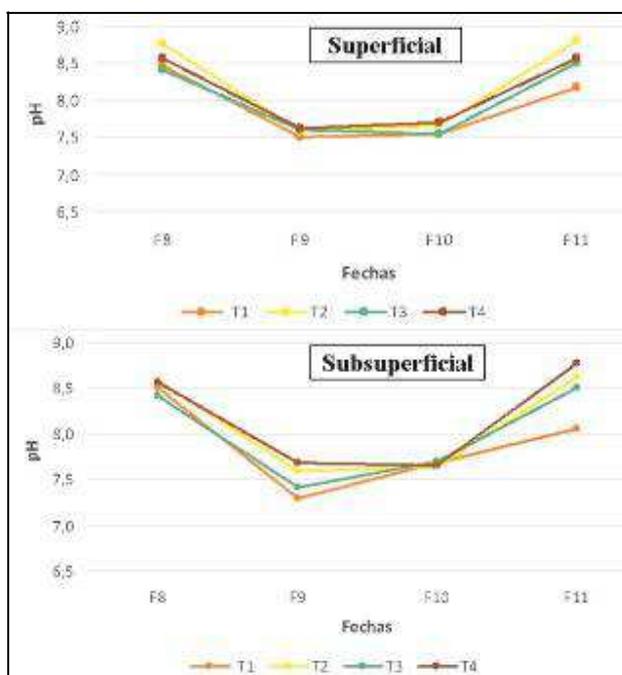


Figura 8.8. Evolución del pH superficial (0-20cm) y subsuperficial (20-40cm), para los tratamientos y el testigo. Año 2011

Evaluación Marzo										
	CE		pH		RAS		Na:K		Ca:K	
Altura planta	-0,79	**	-0,69	**	-0,34	ns	-0,65	**	-0,62	**
Calibre tallo	-0,75	**	-0,63	**	-0,35	ns	-0,72	**	-0,77	**
Area foliar	-0,81	**	-0,57	**	-0,45	*	-0,74	**	-0,23	ns
Frutos	-0,48	*	-0,39	*	-0,06	ns	-0,22	ns	-0,2	ns
Evaluación Junio										
Altura planta	-0,47	ns	-0,04	ns	-0,52	*	-0,39	ns	-0,22	ns
Calibre tallo	-0,56	*	-0,25	ns	-0,54	*	-0,49	**	-0,02	ns
Area foliar	-0,57	*	-0,22	ns	-0,39	ns	-0,38	ns	-0,36	ns

*, **: Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Tabla 8.9. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables edáficas y variables fenológicas del cultivo. Año 2009, evaluación marzo y junio. Comparación tratamientos y testigo.

Evaluación Marzo										
	CE		pH		RAS		Na:K		Ca:K	
Altura planta	-0,17	ns	-0,15	ns	-0,12	ns	0,38	ns	-0,36	ns
Calibre tallo	-0,42	ns	-0,39	ns	-0,26	ns	0,37	ns	-0,57	*
Area foliar	-0,17	ns	-0,2	ns	0,04	ns	0,31	ns	-0,30	ns
Frutos	-0,034	ns	-0,07	ns	-0,12	ns	-0,17	ns	0,30	ns
Evaluación Junio										
Altura planta	-0,04	ns	-0,56	*	0,11	ns	-0,29	ns	-0,19	ns
Calibre tallo	-0,34	ns	-0,5	ns	0	ns	-0,67	**	-0,57	**
Area foliar	-0,25	ns	-0,16	ns	0	ns	-0,59	**	-0,48	*

*, **: Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Tabla 8.10. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables edáficas y variables fenológicas del cultivo. Año 2010, evaluación marzo y junio. Comparación tratamientos y testigo.

Evaluación Marzo										
Altura planta	0,11	ns	-0,14	ns	-0,12	ns	-0,54	**	-0,28	ns
Calibre tallo	-0,14	ns	0	ns	-0,3	ns	-0,68	**	-0,4	ns
Area foliar	0	ns	-0,25	ns	-0,25	ns	-0,58	**	-0,27	ns
Frutos	0,17	ns	0,37	ns	0	ns	0,15	ns	0,10	ns

*, **: Significativo a los niveles de 0,05, 0,01

Tabla 8.11. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables edáficas y variables fenológicas del cultivo. Año 2011, evaluación marzo. Comparación tratamientos y testigo.

Estrato 1	CE		pH		RAS		Na ⁺		Na:K	
Peso	-0,49	*	-0,47	*	-0,15	ns	-0,46	*	-0,45	*
Calibre	-0,35	ns	-0,45	*	-0,06	ns	-0,29	ns	-0,29	ns
Largo	-0,29	ns	-0,50	*	-0,05	ns	-0,24	ns	-0,09	ns
Estrato 2										
Peso	-0,46	ns	-0,14	ns	-0,34	ns	-0,44	ns	-0,19	ns
Calibre	-0,45	ns	0,04	ns	-0,30	ns	-0,40	ns	-0,27	ns
Largo	-0,52	*	-0,28	ns	-0,58	ns	-0,54	*	-0,25	ns
Estrato 3										
Peso	-0,63	**	-0,02	ns	-0,56	*	-0,60	*	-0,44	ns
Calibre	-0,60	*	0,08	ns	-0,55	*	-0,56	*	-0,47	ns
Largo	-0,69	**	-0,06	ns	-0,64	**	-0,69	**	-0,53	*

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 8.12. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables edáficas (F1) y variables de calidad del fruto. Año 2009.

Estrato 1	HP		CT		AF		CF	
Peso	0,422	*	0,45	*	0,58	**	0,43	*
Calibre	0,41	*	0,47	*	0,55	**	0,33	ns
Largo	0,29	ns	0,37	ns	0,34	ns	0,48	*
Estrato 2								
Peso	0,55	**	0,70	**	0,34	ns	s/d	
Calibre	0,49	**	0,60	**	0,38	ns	s/d	
Largo	0,55	**	0,69	**	0,35	ns	s/d	

HP(altura de la planta); CT (calibre tallo); AF (área foliar); CF (cantidad frutos)

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 8.13. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables de calidad del fruto y variables fenológicas. Año 2009, estrato 1 y 2.

	CE		pH		RAS		Na ⁺		Na:K		Ca:K		Na:Ca	
Peso	-0,02	ns	-0,06	ns	-0,14	ns	-0,18	ns	-0,59	**	-0,32	ns	-0,05	ns
Calibre	-0,02	ns	0,04	ns	-0,07	ns	-0,10	ns	-0,51	**	-0,3	ns	-0,01	ns
Largo	-0,07	ns	-0,12	ns	-0,02	ns	-0,07	ns	-0,09	ns	-0,07	ns	-0,06	ns

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 8.14 Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables edáficas (F2) y variables de calidad del fruto. Año 2011, estrato 1.

	HP		CT		AF		CF	
Peso	0,76	**	0,75	**	0,78	**	0,14	ns
Calibre	0,611	**	0,65	**	0,73	**	0,10	ns
Largo	0,45	*	0,19	ns	0,55	**	0,26	ns

HP(altura de la planta); CT (calibre tallo); AF (área foliar); CF (cantidad frutos)

Letras mayúsculas iguales entre tratamientos no difieren entre sí (p: 0,05).

Tabla 8.15. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y significación estadística entre variables de calidad del fruto y variables fenológicas. Año 2011, estrato 1