



UNL • FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS

Tesis para optar al grado académico de
Magister en Cultivos Intensivos

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN UN ENTISOL: LIXIVIACIÓN
DE NITRATOS Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE NARANJA

Ing. Agr. Alejandro Battistella

Director: Ing. Agr., M.Sc., Dr. Pablo Javier Ghiberto

Co-Directora: Ing. Agr., M.Sc. María Fernanda Rivadeneira

Esperanza, Santa Fe

2022

INDICE

INDICE.....	3
INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS.....	6
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I.....	10
EL CULTIVO DE CÍTRICOS, CARACTERÍSTICAS GENERALES, USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS.....	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Antecedentes.....	12
1.1.1 Cítricos.....	12
1.1.2 El cultivo de los cítricos en Argentina	12
1.1.3 Los cítricos en Entre Ríos	13
1.1.4 Fertilización en cítricos	13
1.1.5 Uso del nitrógeno por los cítricos.....	15
1.1.6 Movimiento del nitrógeno en el suelo	17
1.1.7 Riego	19
1.1.8 Fertirriego.....	21
1.2 HIPOTESIS	23
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos	24
CAPITULO II.....	25
LIXIVIACIÓN DE NITRÓGENO EN CULTIVO DE NARANJA SALUSTIANA CON DIFERENTES MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN.....	25
2. INTRODUCCIÓN	26
2.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1.1 Sitio y material vegetal.....	26
2.1.2 Características agroecológicas del área de estudio	27
2.1.3 Clima.....	28
2.1.4 Tratamientos.....	28
2.1.5 Riego y fertilización	29
2.1.6 Lixiviación de nitratos.....	31
2.1.7 Flujo de agua y de nitrógeno	31
2.1.8 Curva de retención hídrica.....	32
2.1.9 Conductividad hidráulica saturada.....	34
2.1.10 Extracción de solución del suelo y concentración de nitratos.....	35

2.2	<i>Análisis estadístico</i>	36
	3. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	37
3.1	<i>Precipitaciones y demanda atmosférica en los ciclos del cultivo</i>	37
3.2	<i>Movimiento de agua</i>	39
	3.2.1 <i>Propiedades físicas del suelo</i>	39
	3.2.2 <i>Drenaje y ascenso capilar en la profundidad de control</i>	43
3.3	<i>Evapotranspiración de cultivo y riego</i>	45
3.4	<i>Concentración de N-NO₃⁻ en la solución del suelo</i>	46
3.5	<i>Lixiviación de N-NO₃⁻</i>	49
	3.5.1 <i>Relación entre la concentración de nitratos y la lixiviación de N- NO₃⁻</i>	56
	4. <i>CONCLUSIONES</i>	57
	CAPÍTULO III	58
	COMPORTAMIENTO Y RESPUESTA DE NARANJA SALUSTIANA CON DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN	58
	5. <i>INTRODUCCIÓN</i>	59
	6. <i>MATERIALES Y MÉTODOS</i>	60
6.1	<i>Mediciones en el cultivo</i>	60
6.2	<i>Análisis estadístico</i>	60
	6.2.1 <i>Monitoreo fenológico</i>	61
	6.2.2 <i>Diagnóstico nutricional</i>	61
	6.2.3 <i>Determinación de rendimiento</i>	62
	6.2.4 <i>Calidad interna de fruta</i>	63
	7. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	65
	7.1.1 <i>Monitoreo fenológico</i>	65
	7.1.2 <i>Análisis foliares de Año 1 y Año 2</i>	66
	7.1.3 <i>Producción de naranja Año 1 y Año 2</i>	67
	7.1.4 <i>Calidad de fruta cítrica</i>	69
	8. <i>CONCLUSIONES</i>	72
	9. <i>CONSIDERACIONES FINALES</i>	72
	10. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	74
	11. <i>ANEXOS</i>	86

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema de plantación de citrus con una densidad de 3 x 5 m y distribución de los tratamientos FG (fertirriego), VL (voleo), TG (testigo) con sus repeticiones.	29
Figura N° 2. Tanque y venturi utilizado para aplicación de fertirriego en lote de naranja Salustiana.	30
Figura N° 3. Cámara de presión de Richards para determinación del CRH de suelo. .	33
Figura N° 4. Método del permeámetro de carga decreciente (Ghiberto, 2009).....	35
Figura N° 5. Extractor de solución de suelo (izquierda), extracción de solución (derecha).	36
Figura N° 6. Fotómetro de nitratos Hanna HI 96728.....	36
Figura N° 7. Precipitación promedio mensual histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2. Datos estación meteorológica INTA Concordia.	37
Figura N° 8. Temperatura (°C) histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2 para Concordia. Datos estación meteorológica INTA Concordia.	38
Figura N° 9. Evapotranspiración potencial histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2. Datos estación meteorológica INTA Concordia.	39
Figura N° 10. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,5 m de profundidad.....	40
Figura N° 11. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,6 m de profundidad.....	41
Figura N° 12. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,7 m de profundidad.....	41
Figura N° 13. Calicata; sobre un suelo Cuartzipsament óxico, serie Yuquerí grande, en área experimental.....	42
Figura N° 14. Evolución del contenido de agua a 0,6 m de profundidad en Año 1.....	44
Figura N° 15. Evolución del contenido de agua a 0,6 m de profundidad en Año 2.....	44
Figura N° 16. Evolución del gradiente de potencial total calculado entre las profundidades de 0,5 m y 0,7 m en Año 1.	45
Figura N° 17. Precipitación (Pacum), evapotranspiración (ET _c), riego (Racum) y drenaje (Dacum) acumulados durante Año 1 de experimento en los tratamientos FG, VL y TG.	46
Figura N° 18. Precipitación (Pacum), evapotranspiración (ET _c), riego (mm) y drenaje en (mm) acumulados durante Año 2 de experimento en los tratamientos FG, VL y TG.....	46
Figura N° 19. Evolución de la concentración de N-NO ₃ ⁻ a 0,6 m de profundidad en Año 1 y de mediciones para los tratamientos Testigo, Fertirriego y Voleo.	47
Figura N° 20. Evolución de la concentración de N-NO ₃ ⁻ a 0,6 m de profundidad en Año 2 y de mediciones para los tratamientos Testigo, Fertirriego y Voleo.	48
Figura N° 21. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en el Año 1 y en los tratamientos (a) Testigo; (b) Fertirriego y (c) Voleo. La línea sólida indica la cantidad lixiviada y las líneas punteadas la cantidad lixiviada con una amplitud de una desviación estándar. Valores negativos indican pérdidas de la profundidad de control y valores positivos ganancias en la profundidad de control.....	51
Figura N° 22. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en el Año 2 y en los tratamientos (a) Testigo; (b) Fertirriego y (c) Voleo. La línea sólida indica la cantidad lixiviada y las líneas punteadas la cantidad lixiviada con una amplitud de una desviación estándar. Valores negativos indican pérdidas de la profundidad de control y valores positivos ganancias en la profundidad de control.....	52
Figura N° 23. N-Lix en kg ha ⁻¹ para Año 1. Letras distintas indican diferencia significativa Tukey (p < 0,05), anexo 2.....	54
Figura N° 24. Nitrógeno lixiviado en kg ha ⁻¹ para Año 2. Letras distintas indican diferencia significativa Tukey (p < 0,05), anexo 2.....	54
Figura N° 25. Influencia de las precipitaciones en la lixiviación de N-NO ₃ ⁻ Año 1.	55
Figura N° 26. Influencia de las precipitaciones en la lixiviación de N- NO ₃ ⁻ Año 2.	55

<i>Figura N° 27. Evolución de las concentraciones de nitratos y la lixiviación de N- NO₃</i>	56
<i>Figura N° 28. Toma de muestras foliares en ramas con fruto.</i>	62
<i>Figura N° 29. Lote de naranja Salustiana previo a cosecha 2019.</i>	62
<i>Figura N° 30. Bins de fruta. Cosecha de tratamientos.</i>	63
<i>Figura N° 32. Recolección de muestras de naranja Salustiana para análisis de calidad.</i>	64
<i>Figura N° 33. Medición de calibre en naranja Salustiana.</i>	64
<i>Figura N° 34. Extracción de jugo para titulación de muestra de sólidos solubles y acidez.</i>	65
<i>Figura N° 35. Vista de fruta entera y corte ecuatorial de fruta de naranja Salustiana.</i>	65
<i>Figura N° 37. Rendimiento para Año 1 de naranja Salustiana. Kg para los distintos tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05). Análisis de la varianza anexo 7.</i>	69
<i>Figura N° 38. Rendimiento para Año 2 de naranja Salustiana. Kg para los distintos tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05). Análisis de la varianza anexo 8.</i>	69
<i>Figura N° 39. Ratio de naranja Salustiana en los tratamientos Año 1.</i>	70
<i>Figura N° 40. Ratio de naranja Salustiana en los tratamientos Año 2.</i>	71
<i>Figura N° 41. Evolución del diámetro (mm) de naranja Salustiana en los diferentes tratamientos Año 1.</i>	71
<i>Figura N° 42. Evolución del diámetro (mm) de naranja Salustiana en los diferentes tratamientos Año 2.</i>	72

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1. Recomendaciones para fertilizar, según tipo de suelo, edad y portainjerto.</i>	15
<i>Tabla N° 2. Parámetros de ajuste de las curvas de retención de cada horizonte del perfil de suelo en estudio.</i>	40
<i>Tabla N° 3. Propiedades físicas del suelo determinadas en el suelo en estudio.</i>	42
<i>Tabla N° 4. Distribución porcentual de los distintos estadios fenológicos.</i>	66
<i>Tabla N° 5. Porcentaje de nitrógeno en hojas promedio de cada tratamiento para Año 1 y 2. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05) entre tratamientos. Análisis de la varianza anexo 5.</i>	67
<i>Tabla N° 6. Comparación del rendimiento medio por hectárea en los diferentes años.</i>	68

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo N° 1. Precipitación evaporación y riegos de Año 1 y 2.</i>	86
<i>Anexo N° 2. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹).</i>	87
<i>Anexo N° 3. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹) entre Año 1 y Año 2.</i>	88
<i>Anexo N° 4. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹) entre tratamientos de Año 1.</i>	88
<i>Anexo N° 5. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹) entre tratamientos de Año 2.</i>	89
<i>Anexo N° 6. Concentración de nitrógeno en hojas en los tratamientos y repeticiones.</i>	89

<i>Anexo N° 7. Tabla de rangos de nutrientes en hojas de cítricos. Manual de productores de naranjas y mandarina de la región del Río Uruguay.....</i>	<i>90</i>
<i>Anexo N° 8. Analisis de la varianza % de N en hojas entre repeticiones.</i>	<i>90</i>
<i>Anexo N° 9. Analisis de la varianza Rto/ha entre años, entre repeticiones de ambos años y repeticiones dentro del año.....</i>	<i>92</i>
<i>Anexo N° 10. Tabla de Distribución porcentual de los distintos estadíos fenológicos Año 1 en función de los meses de ensayo.</i>	<i>94</i>
<i>Anexo N° 11. Tabla de Distribución porcentual de los distintos estadíos fenológicos Año 2 en función de los meses de ensayo.</i>	<i>95</i>
<i>Anexo N° 12. Analisis de la varianza ratio, calibre y % de jugo entre años.....</i>	<i>97</i>
<i>Anexo N° 13. Analisis de la varianza ratio, calibre y % de jugo entre repeticiones de ambos años.....</i>	<i>98</i>

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN UN ENTISOL: LIXIVIACIÓN DE NITRATOS Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE NARANJA

RESUMEN

En Entre Ríos, en la franja costera al Río Uruguay se encuentra aproximadamente un 26 % del total de la superficie plantada con cítricos en Argentina, principalmente sobre suelos arenosos de alta permeabilidad propensos a la lixiviación de nutrientes. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la pérdida de nitrógeno en forma de NO_3^- que lixivian con la solución del suelo bajo diferentes métodos de fertilización. A su vez medir la respuesta del rendimiento, el contenido de nitrógeno en hojas, calidad interna de fruta y evaluar el comportamiento fenológico del cultivo ante dichos métodos. Para ello se realizó un ensayo durante 2 años en un lote de naranja Salustiana (*Citrus sinensis* Osbeck) donde se realizaron 3 tratamientos con 3 repeticiones, testigo (TG): testigo sólo con riego; fertirriego (FG): fertirrigación; voleo (VL): fertilización en superficie. FG y VL recibieron la misma dosis de N y todos los tratamientos la misma lámina de agua. En los años 1 y año 2 se evaluaron, la cantidad de N-NO_3^- lixiviado utilizando extractores de solución; el rendimiento, el contenido de nitrógeno en hojas, calidad interna de fruta y comportamiento fenológico del cultivo. En Año 1, fue mayor la cantidad de N lixiviado en todos los tratamientos comparado con Año 2. En Año 1 se obtuvieron en el tratamiento VL: 27,9 kg ha⁻¹ de N, en comparación con los tratamientos FG: 11,8 kg ha⁻¹ de N y TG: 2,4 kg ha⁻¹ de N. En Año 2 se repite el comportamiento en los tratamientos, donde VL registró 11,3 kg ha⁻¹ de N, seguido por los tratamientos FG 3,2 kg ha⁻¹ de N y TG 1,2 kg ha⁻¹ de N. Los rendimientos obtenidos en Año 1 fueron aproximadamente un 65% mayores que en Año 2. Se registraron en los tratamientos FG: 67,6 Mg ha⁻¹, VL: 48,1 Mg ha⁻¹ y TG: 56,9 Mg ha⁻¹. En Año 2 se registraron rendimientos de FG: 44,3 Mg ha⁻¹, VL: 29,2 Mg ha⁻¹ y TG: 26,4 Mg ha⁻¹.

En el contenido de N en hojas se obtuvieron diferencias significativas a favor del tratamiento FG en comparación con VL y TG. La calidad de fruta y fechas de inicio de brotación / floración y plena floración no se vieron afectados significativamente en los diferentes tratamientos.

Palabras claves: fertirrigación, extractores de solución, fertilización nitrogenada, citrus, suelos arenosos.

ABSTRACT

In Entre Ríos, approximately 26% of the total area planted with citrus in Argentina is located on the coastal strip of the Uruguay River, mainly on highly permeable sandy soils prone to nutrient leaching. The objective of this work was to quantify the loss of nitrogen in the form of NO_3^- that leaches with the soil solution under different fertilization methods. At the same time, measure the yield response, the nitrogen content in leaves, internal fruit quality and evaluate the phenological behavior of the crop before said methods. For this, a trial was carried out for 2 years in a lot of Salustiana orange (*Citrus sinensis* Osbeck) where 3 treatments with 3 repetitions were carried out, control (TG): control only with irrigation; fertigation (FG): fertigation; broadcast (VL): surface fertilization. FG and VL received the same dose of N and all the treatments the same layer of water. In years 1 and 2, the amount of NO_3^- -N leached was evaluated using solution extractors; yield, nitrogen content in leaves, internal fruit quality and phenological behavior of the crop. In Year 1, the amount of leached N was greater in all treatments compared to Year 2. In Year 1, the VL treatment obtained: 27.9 kg ha⁻¹ of N, compared to the FG treatments: 11.8 kg ha⁻¹ of N and TG: 2.4 kg ha⁻¹ of N. In Year 2 the behavior in the treatments is repeated, where VL registered 11.3 kg ha⁻¹ of N, followed by treatments FG 3, 2 kg ha⁻¹ of N and TG 1.2 kg ha⁻¹ of N. The yields obtained in Year 1 were approximately 65% higher than in Year 2. They were recorded in the FG treatments: 67.6 Mg ha⁻¹, VL: 48.1 Mg ha⁻¹ and TG: 56.9 Mg ha⁻¹. In Year 2, FG yields were recorded: 44.3 Mg ha⁻¹, VL: 29.2 Mg ha⁻¹ and TG: 26.4 Mg ha⁻¹. In the N content in leaves, significant differences were

obtained in favor of the FG treatment compared to VL and TG. Fruit quality and start dates of budding/flowering and full bloom were not significantly affected in the different treatments.

Keywords: fertigation, solution extractors, nitrogen fertilization, citrus, sandy soils.

CAPÍTULO I

EL CULTIVO DE CÍTRICOS, CARACTERÍSTICAS GENERALES, USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS.

1. **INTRODUCCIÓN**

En el Noreste argentino la actividad citrícola se desarrolla fundamentalmente en la región cercana al río Uruguay, asociada a suelos de textura arenosa, en una franja de aproximadamente 200 km de extensión que abarca los departamentos de Concordia y Federación en Entre Ríos, y Monte Caseros en Corrientes (Paparotti et al. 2007). Dentro de esta región se encuentran los suelos Entisoles, siendo los más aptos de la provincia de Entre Ríos para la implantación del cultivo de cítricos. Estos son suelos profundos de textura arenosa a arenosa franca de la costa del río Uruguay y deben su origen a depósitos de este río. Presentan bajo porcentaje de materia orgánica, son de baja fertilidad, permeables y susceptibles a sufrir sequías (Tasi, 2009). Estas características, hacen que el manejo de las diferentes labores culturales, como el riego y la fertilización, tengan que realizarse de manera planificada y programada, puesto que el manejo inadecuado de ellas, sumado a las aplicaciones de fertilizantes en altas dosis y la existencia de lluvias abundantes, son promotoras de la lixiviación de nutrientes móviles como el NO_3^- (Dias et al. 2005).

Es conocido que la tecnología de fertirriego es una técnica que permite la aplicación de fertilizantes en forma fraccionada en los momentos y cantidades que el cultivo lo requiere, evitando así las pérdidas por lixiviación y volatilización que producen las fertilizaciones en cobertura sin fraccionamiento de dosis. Esta tecnología permite hacer uso de los fertilizantes con mayor eficiencia.

A pesar de ello, en Entre Ríos, de las 36.387 ha cultivadas con cítricos, un 40 % disponen de riego y sólo un 5,6% de la superficie total hace uso de la tecnología de fertirrigación (Censo Citrícola de Entre Ríos 2015/2016). Actualmente se desconocen las cantidades anuales de nitrógeno en forma de NO_3^- que son pérdidas por lixiviación y su efecto sobre la producción de los cítricos, siendo este problema una incógnita a resolver para poder optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y hacer realizar un manejo sustentable de los recursos ambientales disponibles.

1.1 *Antecedentes*

1.1.1 *Cítricos*

Las especies de cítricos con interés comercial pertenecen a la familia de las Rutáceas, subfamilia Aurantioideas, géneros *Fortunella*, *Poncirus* y *Citrus*. Todas las especies de esta subfamilia son árboles o arbustos de hoja perenne, excepto las del género *Poncirus*. Las especies del género *Citrus* son las más importantes desde el punto de vista agronómico, cultivándose para la producción de frutos destinados al consumo en fresco o industrializados (Agustí, 2000). La producción mundial de cítricos en el año 2018 fue 101.066.000 Mg (Federcitrus, 2018).

Los cítricos se desarrollan en casi todas las regiones del mundo dentro de la banda delimitada por la línea de 40° de latitud N y S. Las numerosas especies del género *Citrus* provienen de las zonas tropicales y subtropicales de Asia y del archipiélago Malayo; desde allí se distribuyeron a las otras regiones del mundo donde hoy se cultivan cítricos (Anderson, 1996). Sin embargo, dado que las condiciones climáticas son un factor determinante de la producción y de la calidad de los frutos, la mayor proporción de las explotaciones comerciales se encuentran entre los 20° y 40° de latitud en los hemisferios norte y sur, en zonas preferentemente húmedas y temperaturas cálidas pero suaves (Agustí, 2003).

1.1.2 *El cultivo de los cítricos en Argentina*

Argentina se encuentra entre los principales países productores a nivel mundial, ubicándose en el octavo lugar, habiendo descendido dos escalones frente a Egipto y Turquía en los últimos 5 años. La producción argentina de cítricos para el año 2017 alcanzó las 3.272.771 Mg, representando un 3,24% de la producción mundial. La producción principal es la de limones con 1.676.000 Mg seguido por naranjas 1.025.000 Mg. Dentro de la producción de frutas frescas los cítricos son el principal producto con 2.832.131 Mg (Federcitrus, 2018).

La superficie plantada con cítricos en Argentina el año 2017 llegó a las 135.501 ha, distribuidas casi en su totalidad en dos grandes regiones citrícolas, el noroeste y noreste argentino (Federcitrus, 2018).

1.1.3 *Los cítricos en Entre Ríos*

En el Noreste argentino la actividad citrícola se desarrolla fundamentalmente en la región cercana al Río Uruguay, asociada a suelos con alto contenido de arena, en una franja de aproximadamente 200 km de extensión que abarca los departamentos de Concordia y Federación en Entre Ríos, y Monte Caseros en Corrientes (Paparotti y Gvozdenovich, 2007). La zona citrícola más importante se localiza al noreste de la provincia, sobre la margen occidental del río Uruguay, en un ancho que varía entre 2 y 30 km. Dentro de esta zona se destacan los Departamentos de Concordia, Federación y Norte de Colón.

Según el último censo de la provincia de Entre Ríos citrícola (CPC) de 2016, la superficie plantada era de 36.386,9 ha, de las cuales corresponden a los Departamentos Federación un 80,7%, Concordia un 18,9% y 0,4% a Colón (Fecier, 2016). En su mayoría y a diferencia de otras regiones de la Argentina, se encuentran establecimientos de aproximadamente 25 ha (Craviotti, 2010).

En la campaña 2017/18 Entre Ríos produjo el 18,27% de los cítricos de la producción nacional, 599.996 Mg, de las cuales el 60,97% correspondió a naranjas, 33,83% a mandarinas, 0,83% a pomelos y 2,7% a limones. En la provincia, en la distribución de las especies lidera con un 54% naranjas, 42,2% mandarinas y 1,7 limones (Fecier, 2016; Federcitrus, 2018).

1.1.4 *Fertilización en cítricos*

Los cítricos se pueden desarrollar bajo una amplia gama de niveles de nutrimentos y es imposible definir un solo programa de fertilización, que pueda ser considerado mejor que otros y para todas las condiciones.

El objetivo de la fertilización es incrementar la fertilidad natural del suelo y consecuentemente, obtener un rendimiento mayor en las cosechas. Para ello es necesario realizar un manejo integral con diversos paquetes tecnológicos, en la cual, hacer un manejo racional de los nutrientes para evitar pérdidas por lixiviación, implica conocer la forma en que se moviliza y absorbe cada nutriente en el perfil del suelo, ya que la productividad es el resultado de la suma interactiva de una variada gama de factores, referidos a las características propias de la planta, al medio ambiente y a los cuidados que se le brinden (Banfi, 1996; Quiñones et al. 2007).

Todo programa de fertilización debe reconocer y estimar la existencia de diferencias que incluyen suelos, portainjertos, variedades, edad de la planta, programas anteriores de fertilización, estado fitosanitario de la planta y muchos otros factores ya que la fertilización constituye una de las prácticas culturales más influyentes en la determinación del tamaño final y la calidad de los frutos cítricos (Morgan et al. 2011)

La incorporación de fertilizantes al suelo puede realizarse de diferentes formas, entre ellas, la aplicación al voleo en la proyección de la copa o zona radicular del cultivo o a través de fertirriego, que es una técnica que en los últimos años se ha incorporado como una herramienta importante en el manejo de los huertos frutales (Mattar y Pizarro, 2007) debido a la eficiencia de su uso (Teixeira et al. 2011, Burt et al. 1995). También, son importantes las aplicaciones foliares en las plantaciones de cítricos que se encuentran establecidas en suelos que en su gran mayoría presentan problemas nutricionales de magnesio, boro, zinc (Banfi, 1996). Los análisis de suelo no permiten tener una idea completa sobre la verdadera absorción de nutrimentos para la planta, por lo que se debe acudir al análisis foliar como complemento muy eficiente, sin dejar de lado las extracciones que realiza la producción de frutos. Como se muestra en la (Tabla N° 1) del Manual para productores de naranja y mandarina de la región del río Uruguay (Banfi, 1996), la fertilización de los cítricos se hace principalmente con abonos de fórmula completa, en donde es muy importante, durante los dos primeros años darle desarrollo a la planta mediante fertilizantes nitrogenados los que se deben aplicar en forma fraccionada para mejorar la eficacia de su utilización, ya que aplicado de esta forma se mantiene el nivel de nitrógeno disponible

para la planta en forma más constante y prolongada y se disminuyen las pérdidas por lavado ocasionada por las lluvias (Filgueira, 1991).

Tabla N° 1. Recomendaciones para fertilizar, según tipo de suelo, edad y portainjerto.

Tipo de suelo	edad de planta	portainjerto	fórmula abono	dosis (*)	fraccionamiento
a) arenoso	1. Nueva y hasta 6 o 7 años	Cualquiera	15-15-15	270	4-5 veces hasta 4 años y 3-4 hasta los 7 años
	2. En producción	a) Trifolio	15-6-15-6 cloruro de potasio	330 50	2 a 3 veces
		b) otros portainjertos	15-15-15 urea	240 40	
	a) mestizo	1. Nueva y hasta 6 o 7 años	Cualquiera	15-15-15	270
2. En producción		a) Trifolio	15-6-15-6 cloruro de potasio	330 70	2 a 3 veces
		b) otros portainjertos	15-6-15-6	330	
					2 a 3 veces

(*) gramos de fertilizante por año de edad y por año. Después de los 12-13 años de edad, mantener constante.

1.1.5 *Uso del nitrógeno por los cítricos*

Esta práctica es una de las principales, debido a que del agregado de nitrógeno depende la productividad y la calidad del fruto. La deficiencia de este elemento se manifiesta con el amarillamiento de las hojas, falta de brotación, floración muy abundante y falta de cuajado de los frutos, que redundan en una cosecha extremadamente reducida. Los frutos que logran ser cosechados tienen buena calidad en general (cáscara fina, buen sabor), a excepción del tamaño. Por lo contrario, el exceso establece características totalmente opuestas, tanto en planta como en frutos (Anderson, 1996). Es por ello, que la necesidad de ajustar la dosis de nitrógeno en razón de lo antedicho, es de importancia vital. El análisis foliar logra perfectamente este objetivo.

En suelos permeables la fertilización con este elemento debe ser cuidadosamente realizada, dados los riesgos de pérdidas, tanto por volatilización cuando se usan fertilizantes amoniacales, como por lixiviación cuando se usan fertilizantes en base a nitratos. Estos

problemas pueden ser atenuados con el fraccionamiento en la aplicación de N. Mattos et al. (2003) y Quaggio et al. (2006), muestran que la movilidad en el perfil de algunos fertilizantes nitrogenados en la forma de nitrato puede ser atenuada cuando se utilizan sistemas de riego de alta frecuencia, en dicha práctica, el elemento mejor aprovechado en la fertirrigación es el nitrógeno.

La demanda de nitrógeno de los cítricos no es constante a lo largo de año, la misma está dada en función de la capacidad de absorción de las raíces, comenzando de manera reducida al inicio de la primavera, lográndose un aumento creciente de la absorción con un punto máximo al promediar el verano. Si bien el período primaveral no es el de máxima absorción, sí es el de máxima demanda, debido a la presencia de la flor, del cuaje y multiplicación de la célula del fruto. Al inicio del ciclo vegetativo (brotación-floración) en la primavera, coincidiendo con el momento de mayor requerimiento en N, la absorción de este elemento en zonas de clima templado o subtropical se ve notablemente disminuida a causa de las bajas temperaturas (Legaz-Paredes et al. 1981). Anderson (1996) y Agustí (2003) muestran una correlación positiva entre la absorción de N y la temperatura del aire y del suelo, siendo la absorción de N muy baja cuando la temperatura del suelo es menor a 12°C. Es por ello que la absorción de nitrógeno alcanza sus valores mínimos en invierno y se maximiza en fines de primavera-verano (Martínez-Alcántara, 2010). Este autor sugiere repartir la dosis anual de nitrógeno en 2 aplicaciones en suelos arcillosos a francos y en 5 veces en suelos arenosos cuando la aplicación se hace al suelo y fraccionamientos muy superiores en fertirrigación.

Diferentes estudios indican cómo se moviliza y acumula el nitrógeno dentro de la planta, donde Martínez-Alcántara (2010) muestra que cerca del 30% del N aplicado en primavera y acumulado en las hojas jóvenes, se movilizó posteriormente a los frutos jóvenes en desarrollo y a las hojas de la brotación del verano. Según Agustí (2003), el principal órgano de reserva son las raíces, aportando aproximadamente el 50% del nitrógeno. Las hojas del año anterior ceden aproximadamente el 40%, y los tejidos del tronco y ramas el 10% restante. Estos datos nos indican la importancia que tienen las reservas constituidas durante el verano y otoño del año anterior.

El fertilizante nitrogenado más utilizado en citricultura es la urea por la importante relación entre unidades de nitrógeno y precio. A causa de esto, los errores que se cometen con este fertilizante son muchos. El más común es el agregado en exceso en plantas jóvenes o recién plantadas para obtener un desarrollo rápido, lográndose todo lo contrario. Todo esto se soluciona agregando este fertilizante en forma fraccionada y acompañado, en lo posible, con estiércol o fertilizantes orgánicos que actuarán como reguladores de la absorción (Dasberg et al. 1988; Banfi, 1996).

1.1.6 *Movimiento del nitrógeno en el suelo*

Para conseguir un uso eficiente del nitrógeno en cultivos hortícolas y leñosos intensivos es necesario optimizar, tanto el manejo del agua de riego, como el de la fertilización nitrogenada, por tal motivo ya que el proceso de lixiviación de nitrógeno está ligado al drenaje de agua es necesario, diseñar herramientas de manejo del riego y la fertilización en los sistemas productivos (Alva, 2006). Raij (1991), muestra que las pérdidas más importantes de nutrientes, en regiones de clima húmedo, se producen por lixiviación, problema difícil de evitar, a no ser cuando se fraccionan los fertilizantes, con el fin de suplir los nutrientes en épocas de mayor demanda por la planta, principalmente en el caso del nitrato, que se pierde fácilmente en el agua de percolación.

El transporte de aniones, como el nitrato, fuera del sistema suelo-planta por lixiviación pueden contaminar acuíferos y otros cuerpos de agua y adquirir relevancia en situaciones en donde se combinan suelos de texturas gruesas con uso de riego o, en donde se presentan eventos de precipitación intensas (mayores a 30 mm h^{-1}) (Duggan, 2001).

Los suelos arenosos, porosos y de baja capacidad retención de agua y nutrientes, facilitan la lixiviación de iones, principalmente de nitratos, que contribuyen a la contaminación progresiva de las aguas subterráneas como lo indican en sus trabajos autores como (Serrano et al. 1993; Oliveira et al. 2011). Sánchez de Oleo (2016) muestra que la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos de origen agrícola es un problema ambiental que se manifiesta

en varios países desarrollados, donde el nitrógeno es un nutriente fundamental, pero el manejo inadecuado de la fertilización y el riego, especialmente en zonas de agricultura intensiva, puede provocar problemas ambientales como antes mencionados.

El manejo de la fertirrigación se realiza estableciendo cantidades preestablecidas de fertilizantes, según estadios fenológicos (Papadopoulos, 1999). En la floración, la demanda por N comienza a acentuarse, y alcanza el máximo, al inicio de la fructificación, después de la caída de los pétalos, disminuyendo posteriormente (Cohelo et al. 2011).

Mantovani (2005) afirma que la combinación de fertilizantes puede aumentar la dinámica de lixiviación de nitratos y muestra que la adición de fuentes nitrogenadas de superfosfato triple de calcio aumenta la lixiviación de amonio y nitratos, como consecuencia del desplazamiento del amonio de las cargas negativas por el calcio del fertilizante fosfatado. También toma importancia la utilización de diferentes fuentes de N, al tener influencia a la hora de la rapidez de como el NO_3^- entra en solución Alves et al. (2010).

Para realizar el seguimiento del movimiento del ion nitrato en el perfil del suelo, existen numerosos métodos. Entre ellos encontramos las cápsulas porosas extractoras de solución. La utilización de estas para extraer la solución del suelo es bastante difundida, principalmente por su fácil manejo, costo relativamente bajo y por el hecho de que el extracto obtenido no requiera tratamientos previos a las determinaciones fisicoquímicas (Moraes y Dynia, 1990). Souza (2012) concluye que el análisis de la solución del suelo, que se obtiene por la extracción de la cápsula porosa puede ser considerado una herramienta para supervisar y evaluar la disponibilidad de nutrientes en los sistemas fertirrigación de cítricos. Por su parte, Silva (2002) muestra que la extracción de solución con extractores de cápsula porosa puede ser conveniente y bien adaptada para la caracterización del movimiento de iones como nitrato en el perfil. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunos factores como fuentes importantes de error como la obstrucción de los poros de las cápsulas con coloides del suelo.

Silva (2002) afirma que el muestreo sistemático de la solución de suelo es siempre en el mismo punto y no destructiva y con el uso de extractores solución del suelo es posible ayudar en la gestión de fertirrigación y determinar la concentración de iones específicos.

1.1.7 Riego

El riego constituye una de las prácticas culturales de mayor impacto en la determinación del tamaño y la calidad final del fruto, aunque existe una compleja interacción entre la disponibilidad de agua en el suelo y su capacidad de almacenamiento, y la demanda de la planta de acuerdo a su estado fenológico y las condiciones ambientales. Su objetivo, es mantener los suelos con una condición de humedad adecuada para que las plantas puedan absorber el agua que precisan para la transpiración (Castel-Sánchez, 2005).

En la citricultura se utilizan diversos métodos de riego. Para la elección del mismo es necesario tener en cuenta su eficiencia en lo que se refiere al ahorro de agua y energía, sin comprometer la productividad del cultivo, teniendo los sistemas de riego localizado gran aceptación en todo el mundo. Entre las ventajas, se incluyen los siguientes aspectos: alta eficiencia de aplicación, cercana al 90% como lo indica (Antúnez, 2010) en uno de sus trabajos, baja presión, facilidad de operación y buen control sobre la aireación del suelo. Cohelo et al. (2011), marca la importancia del tipo de suelo en el que se desarrolla el cultivo, puesto que los suelos con textura media (francos) o fina (arcillosos) son más propensos al goteo que los arenosos, pues en estos últimos, en general, no se desenvuelve un volumen de suelo mojado suficiente para contener todo el sistema radicular, a menos que se utilice un número mayor de emisores por planta. Por tal motivo, Intrigliolo et al. (1994) recomienda aumentar el número de goteros por planta en el caso de suelos arenosos. Daker (1984) muestra que ligeras diferencias en la textura del suelo pueden provocar una distribución desigual de agua en las capas del suelo, acarreado desuniformidad en la acumulación de sales a lo largo del perfil.

Actualmente, de las 36.387 Ha cultivadas con cítricos en Entre Ríos, un 40 % disponen de riego (Fecier, 2016). El requerimiento de agua de las plantas cítricas es de 1000 a 1200 mm por año (Bomman, 1994; Anderson, 1996). En la zona de Concordia es cubierto sin mayores problemas, dado que el promedio anual de los últimos años es superior, pero al ser su distribución muy variable, es posible observar períodos de sequía, no por ausencia de lluvias

sino debido a la alta evaporación del suelo, la elevada transpiración de las plantas, la baja capacidad de retención hídrica y a la irregular distribución anual de las precipitaciones, requiriendo de esta forma riegos suplementarios (Melgar et al. 1992). Sumado a esto, los suelos Entisoles, de la provincia de Entre Ríos, profundos de textura arenosa a arenosa franca son permeables y susceptibles a sufrir sequías (Tasi, 2009), haciendo estas características, que el manejo de las diferentes labores culturales, como el riego, tengan que realizarse de manera planificada y programada (Dias, 2005).

Las necesidades de agua en la planta varían de acuerdo con las distintas fases de crecimiento y desarrollo: división de células, etapa que se extiende desde el final de la floración hasta mediados del mes de diciembre; alargamiento de células, es el período de máximo desarrollo del fruto, comienza en la segunda mitad de diciembre y puede extenderse hasta mayo o julio y el período de maduración, se prolonga hasta la cosecha (Banfi, 1996)

Los cítricos no responden directamente al método de riego ni a su frecuencia, sino al régimen de humedad del suelo (potencial mátrico) al que son sometidos durante el desarrollo del ciclo (Castel-Sánchez, 2005).

En cuanto al sistema radicular de los cítricos, es importante tener en cuenta la profundidad efectiva, en la que las raíces absorben la mayor proporción de agua y nutrientes. El mismo está formado por un conjunto de raíces finas y fibrosas más abundante en los primeros 30-50cm de profundidad del suelo, y algunas raíces pivotantes más profundas (Paramasivam et al. 2000).

Pires (2005) considera la profundidad efectiva de 0,6 m para el sistema radicular de naranja. Las regiones de mayor actividad del sistema radicular se localizan en donde el agua está siendo absorbida para suplir la evapotranspiración del cultivo. Dirksen et al. (1979) muestra que, en el caso de plantas cítricas, el 80% de la extracción de agua ocurre en los primeros 0,6 m de profundidad en el perfil del suelo. Sumado a esto, Quiñones et al. (2009), muestra en sus trabajos que el 90% de las raíces finas se ubican en los 45 cm superiores del perfil del suelo y el nitrato encontrado más allá de esta profundidad podría lixiviar.

1.1.8 Fertirriego

La tecnología de fertirriego es una técnica que permite la aplicación de fertilizantes en forma fraccionada en los momentos y cantidades respetando las curvas de demanda del cultivo (Morgan y Obreza, 2011), evitando así las pérdidas por lixiviación y volatilización que producen las fertilizaciones en cobertura sin fraccionamiento de dosis. Esta tecnología permite hacer uso de los fertilizantes con mayor eficiencia.

En cítricos el aporte fraccionado de los fertilizantes nitrogenados mejora la eficiencia de su utilización, manteniendo el nivel de nitrógeno disponible para la planta en forma más constante y prolongada, y se disminuyen las pérdidas por lavado (Alva et al. 2006; Martínez-Alcántara, 2010). Esta problemática, tiene importancia en la mayoría de las producciones intensivas que se realizan en todo el mundo y la región citrícola de Entre Ríos no escapa a ella, de la que se desconoce las cantidades anuales de nitrógeno en forma de NO_3^- que son perdidas por este mecanismo, siendo este problema una incógnita a resolver para poder así optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y hacer un uso sustentable de los recursos ambientales disponibles.

Donagemma et al. (2008) muestra en sus trabajos que para ser eficiente en la fertirrigación, hay que localizar los nutrientes en la profundidad de máxima densidad de las raíces, puesto que la aplicación de una lámina de riego excesiva puede llevar consigo los nutrientes para una profundidad fuera del alcance de las raíces, disminuyendo la eficiencia de la fertilización; además, puede provocar la lixiviación en razón de la movilidad diferencial de ese nutriente, en el sentido de prevenir la contaminación del agua subterránea por nitrato y la consiguiente contaminación ambiental. El aumento de la eficiencia en el uso de nitrógeno trae aparejado consigo mayor productividad del cultivo así lo muestran en su experiencias diversos autores tales como Duenhas (2002), el cual observó una tendencia de mayor productividad en los tratamientos de fertirrigación vs fertilización convencional para una misma dosis, concluyendo que la utilización del fertirriego en cultivos de cítricos da buenos resultados, y principalmente da la posibilidad de mayor fraccionamiento de los fertilizantes, aumentando la

eficiencia en uso de los abonos por las plantas. Pero los resultados con este tipo de tecnologías como la fertirriegaación, solo se hacen visibles si se manejan para racionalizar el uso de los recursos naturales y aumento de la productividad (Coelho et al. 1999). Sumado a esto, varios autores (Alva, 1998; Dasberg et al.; Willis et al. 1991) mostraron en sus trabajos un aumento de la productividad del cultivo de cítricos mediante el uso de fertirriegaación.

Con lo antes mencionado se hace visible la eficiencia de la fertirriegaación frente a otras técnicas de aplicación de fertilizantes. Dasberg et al. (1988), realizó la comparación de fertilización nitrogenada en un cultivo de citrus bajo diferentes formas de aplicación, a través de fertirriego y fertilización convencional y si bien no hubo diferencia significativa en el tamaño y la calidad de los frutos, dosis de 160 kg ha^{-1} de N aplicada a través agua de riego resultaron en rendimientos más altos en comparación con la misma cantidad aplicada convencionalmente.

Otra de las ventajas del aumento de la eficiencia de fertilización a través de fertirriego, la podemos observar en trabajos de (Cantarella et al. 2003; Mattos et al. 2003) que muestran que cuando los fertilizantes como la urea, se aplican en la superficie del suelo y a veces sobre residuos de plantas, está sujeta a pérdidas por volatilización de amoníaco (NH_3) si no hay incorporación mecánica o con agua de riego/precipitación.

Papadopulus, (2001) en sus trabajos muestra que la eficiencia de absorción de N, P y K puede sufrir variaciones del orden del 85%, 35% y 90%, para riego localizado. Mattos (2009), por su parte muestra resultados de la investigación en suelos sometidos a lluvias excesivas, que, en la citricultura, la eficiencia del fertilizante aumenta hasta 25% con la fertirriegaación, en comparación con la fertilización sólida (Quaggio et al. 2006). Así, en cultivo fertirrigado, las dosis de N y K aplicadas vía fertirriegaación se reducirá en un 20%.

La eficiencia en el uso del nitrógeno bajo una misma técnica de aplicación puede variar dependiendo el tipo de fertilizante que se utilice. Souza et al. (2005) obtuvo que la tasa de acumulación de nitrato en función del aumento de la concentración del fertilizante en agua de riego es mayor con nitrato de potasio que con urea, a una profundidad de 0,60 m. Por su parte, Castel et al. (1995) estudió el efecto de la dosis de riego y la aplicación de N sobre el

rendimiento y la lixiviación de nitratos en árboles de mandarina. En el experimento aplicaron cuatro dosis de agua de riego por goteo y dosis de 120 y 210 kg ha año⁻¹ de N. Obtuvieron que, las tasas anuales de lixiviación de nitratos variaron de 70 kg ha año⁻¹ de N en el tratamiento con la menor dosis de riego y N y 188 kg ha año⁻¹ de N en el tratamiento de mayor riego y N.

Por ello, en cultivos con fertirrigación, es importante el conocimiento de la condición del suelo, como así también realizar el seguimiento de la dinámica y distribución de los nutrientes en el perfil. Esta práctica permite establecer o ajustar la aplicación adecuada de los fertilizantes y manejo del agua de riego, a fin de evitar la pérdida y consecuente contaminación de la capa subterránea (Souza et al. 2005, Barros, 2010).

1.2 ***HIPOTESIS***

En el cultivo de cítricos implantados en suelos arenosos, el uso de dosis elevadas de fertilizantes nitrogenados, favorecen la lixiviación del mismo provocando pérdidas en el sistema que conllevan a la disminución de la productividad. Por lo que el fraccionamiento de la fertilización, en naranja Salustiana, a través de técnicas como la fertirrigación producen una mayor producción de fruta, un mayor contenido de N en hoja y variación en la calidad interna y fenología del cultivo.

1.3 ***OBJETIVOS***

1.3.1 ***Objetivo general***

Evaluar el efecto de diferentes estrategias de manejo de la fertilización nitrogenada sobre la lixiviación de nitratos, la producción, el contenido de nitrógeno foliar, la calidad de fruta y fenología de naranja var. Salustiana cultivada en un Entisol de la zona de Concordia, Entre Ríos.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- a- Cuantificar los nitratos lixiviados con la solución del suelo en los diferentes métodos de fertilización en naranja var. Salustiana (*Citrus sinensis* Osbeck).
- b- Evaluar rendimiento, contenido de nitrógeno total en hojas, calidad interna de fruta y el comportamiento fenológico bajo los diferentes tratamientos de fertilización de naranja var. Salustiana (*Citrus sinensis* Osbeck).

CAPITULO II

***LIXIVIACIÓN DE NITRÓGENO EN CULTIVO DE NARANJA SALUSTIANA
CON DIFERENTES MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN***

2. INTRODUCCIÓN

El manejo del nitrógeno adquiere importancia en suelos arenosos, con elevada macroporosidad debido a que esta se asocia a altas tasas de percolación profunda que en conjunto a elevadas concentraciones de N en la concentración de solución de suelo, favorecen su lixiviación. En tal sentido, Andrade (2009) afirma que utilizando fuentes muy móviles como el nitrato, junto con la aplicación elevada de agua en la irrigación se potencializa la lixiviación de N. Por tal motivo, es de gran importancia el fraccionamiento de la aplicación de N en el tiempo y los métodos que se utilizan en dicha aplicación. Duenhas et al. (2002) afirma que es importante utilizar la fertirrigación como una herramienta que contribuya a la reducción de las pérdidas por lixiviación.

Si bien, tradicionalmente, el manejo de la fertirrigación en los cultivos se realiza estableciendo cantidades preestablecidas de fertilizantes, fraccionándolas de acuerdo con la absorción del cultivo según estadios fenológicos (Papadopoulos, 1999), los aspectos relacionados a la lixiviación de N, todavía no han sido estudiados ni cuantificados en Entisoles de la región de Concordia provincia de Entre Ríos.

La hipótesis de este capítulo es que el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en suelos arenosos de alta permeabilidad contribuye a disminuir la lixiviación de nitratos en profundidad. Considerando lo mencionado anteriormente, el objetivo de este capítulo, es cuantificar los nitratos lixiviados en la solución del suelo en los diferentes métodos de fertilización aplicados en naranja Salustiana cultivada sobre un Entisol.

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 Sitio y material vegetal

El experimento se desarrolló durante dos años consecutivos (2018/19 y 2019/20) en la EEA INTA Concordia (Latitud: 31° 36' Sur, longitud: 58° 10' Oeste), en un lote en producción de naranja Salustiana (*Citrus sinensis* Osbeck) injertada sobre pie trifolio (*Poncirus trifoliata* Raf.), implantado en 2006, en alta densidad (666 pl ha⁻¹), con un marco de plantación de 5 m entre filas y 3 m entre plantas, con riego por goteo.

El lote cuenta con una superficie de 5.500 m², compuesto por 25 filas de 18 plantas cada una. Las prácticas culturales se ajustaron al sistema de producción de frutas frescas cítricas convencionales y comunes para la zona y el cultivo, donde se realizó el control fitosanitario de enfermedades únicamente con el uso de fungicidas. El control de malezas se realizó a través de herbicidas en la línea de plantación y con desmalezadora en el espacio entre las líneas. La fertilización y el riego se efectuaron de acuerdo a los tratamientos planteados. Antes del comienzo del ensayo se realizó una poda de limpieza y formación en todo el lote, siguiendo las prácticas de manejo usadas comúnmente en la zona, la misma se llevó a cabo en los meses de junio y julio de 2018.

2.1.2 Características agroecológicas del área de estudio

Dentro de la región citrícola perteneciente a Concordia se encuentran los suelos Entisoles, siendo los más aptos de la provincia de Entre Ríos para la implantación del cultivo de cítricos. Estos son suelos profundos de textura arenosa a arenosa franca de la costa del río Uruguay y deben su origen a depósitos de este río. Presentan bajo porcentaje de materia orgánica, son de baja fertilidad, permeables y susceptibles a sufrir sequías (Tasi, 2009). Estos suelos poseen buena aireación y permeabilidad (Banfi, 1996).

El suelo del lote en estudio corresponde a un Cuartzipsament óxico, no ácida, térmica serie Yuquerí Grande. Son suelos aluviales, de textura arenosa (mayor al 80 %) y color rojizo o rojo amarillento que yacen sobre materiales más arcillosos que se encuentran a más de 120 cm de profundidad. Los suelos de esta serie se componen fundamentalmente de horizontes con características similares, pero de colores cada vez más rojizos en profundidad. Por lo general,

tienen un A_1 o A_p de 15-17 cm de espesor, más oscuro debido al contenido más elevado de materia orgánica, única característica que lo diferencia de las restantes capas ya que -textural y estructuralmente- son similares (Tasi, 2009). En su composición granulométrica predominan la arena fina y media. Los porcentajes de arcilla en los distintos horizontes oscilan entre 7-10 % y la cantidad de limo es escasa, del orden del 3%. Tienen muy baja capacidad de intercambio catiónico ($1,2$ a $3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Tasi, 2009).

2.1.3 Clima

El clima de Concordia se caracteriza por una temperatura media anual de $18,7^\circ\text{C}$, temperaturas medias de $25,3^\circ\text{C}$ para el mes más cálido (enero) y de $12,5^\circ\text{C}$ para el mes más frío (julio). Los valores promedios de las máximas y mínimas extremas anuales son de $39,0^\circ\text{C}$ y $-2,7^\circ\text{C}$ respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas registradas han sido $41,4^\circ\text{C}$ (años 2006, 2013) y $-5,1^\circ\text{C}$ (año 1996), respectivamente. El período medio libre de heladas es de 10 meses, con una frecuencia media anual de 8,6 heladas meteorológicas. Para las precipitaciones, el promedio y la mediana anual son 1372,9 mm y 1292,6 mm respectivamente, con un valor anual máximo de 2193,2 mm (año 2002) y un mínimo de 786,4 mm (año 2008). Aunque el balance hidrológico registra ligeros déficits en diciembre, enero y febrero, los índices climáticos indican ausencia de estación seca o de meses secos (Ramos et al. 2018).

2.1.4 Tratamientos

Se establecieron tres tratamientos con tres repeticiones en las campañas 2018/19 y 2019/20, denominadas a partir de ahora Año 1 y Año 2 respectivamente. Los tratamientos fueron: Testigo (TG), riego por goteo, sin agregado de fertilizantes; Fertirriego (FG), riego por goteo y fertirrigación con una dosis de 225 g pl^{-1} de N, fraccionada en 28 aplicaciones distribuidas durante 7 meses (septiembre a marzo); Fertilización al Voleo (VL), riego por goteo y fertilización al voleo en superficie, en forma homogénea en el área formada por la proyección

Se utilizó urea como fuente de nitrógeno principal y para aporte de fósforo y calcio se completó con fosfato monoamónico y nitrato de calcio como fuentes de N secundarias. Para el agregado de potasio y magnesio se utilizó cloruro de potasio y sulfato de magnesio. La fertilización se llevó a cabo en un período de 7 meses, de agosto/septiembre a febrero/marzo.

De la dosis total, el fraccionamiento y distribución en los tratamientos FG y VL se realizó en las distintas fases fenológicas con los fertilizantes mencionados anteriormente (urea, fosfato monoamónico, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, nitrato de calcio) de la siguiente forma. :

- Pre flor-cuaje (agosto-octubre): aplicación del 30% de $N-P_2O_5-K_2O-Mg-CaO$
- Cuaje (octubre-noviembre): aplicación del 50% de $N-P_2O_5-K_2O-MgO-CaO$
- Llenado de fruta (diciembre-marzo): aplicación del 20% de $N-P_2O_5-K_2O-MgO-CaO$

En FG se realizó una aplicación semanal, con un total de 28 aplicaciones desde agosto/septiembre a febrero/marzo. Los fertilizantes se incorporaron al sistema de riego a través de un inyector tipo Venturi (Figura N° 2), con una tasa de inyección de $50 L h^{-1}$.



Figura N° 2. Tanque y venturi utilizado para aplicación de fertirriego en lote de naranja Salustiana.

En VL se realizó una aplicación en forma manual en superficie, en forma homogénea en el área formada por la proyección de la copa, al comienzo de cada fase fenológica, totalizando 3 aplicaciones por año. Las fechas de aplicación fueron en 2018, 10/09/2018, 11/10/2018 y 14/12/2018 y en 2019, el 4/09/2019, el 16/10/2019 y el 11/12/2019.

2.1.6 Lixiviación de nitratos

2.1.7 Flujo de agua y de nitrógeno

La lixiviación de nitratos en la profundidad de control se cuantificó en el ciclo de cultivo integrando el flujo de nitratos con la siguiente expresión:

$$q_N = \int_{t_0}^{t_f} q_w C_N dt \quad (1)$$

siendo q_N , la densidad de flujo de nitratos en el suelo ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$); q_w , la densidad del flujo de agua en el suelo (mm d^{-1}) y el C_N , es la concentración de nitrógeno de la solución del suelo (kg L^{-1}) en el momento de la medición (ítem 2.1.7); t_0 y t_f representan el tiempo de inicio y final del experimento.

El flujo de agua en el suelo a 0,6 m de profundidad se calculó mediante la ecuación de Darcy:

$$q_w = -K(\theta) \frac{\Delta(\psi_t)}{L} \quad (2)$$

donde q_w es el flujo de agua en el suelo (mm d^{-1}); $K(\theta)$ es la conductividad hidráulica en el contenido volumétrico de agua del suelo (θ) a 0,6 m de profundidad $\Delta(\psi_t)/L$ es el gradiente potencial total del agua en el suelo.

Para tal finalidad se midió la humedad a 0,5; 0,6 y 0,7 m de profundidad y se instalaron extractores de solución del suelo con cápsula porosa a 0,6 m. La profundidad de 0,6 m se

estableció como profundidad de control porque se considera que es el espesor donde se extraen mayoritariamente el agua y los nutrientes por parte de los cítricos.

Para determinar la humedad del suelo, semanalmente se extrajeron muestras perturbadas a 0,5 0,6 y 0,7 m a las cuales se les determinó la humedad gravimétrica convertida posteriormente a humedad volumétrica (θ) utilizando la densidad del suelo (ρ) (Gardner, 1986).

Para la determinación de $K(\theta)$ y $\Delta(\psi_t)/L$ se utilizaron medidas de humedad de suelo a las profundidades de 0,5; 0,6 y 0,7 m, curva de retención hídrica (ítem 2.1.8) y conductividad hidráulica saturada (ítem 2.1.9).

Para el cálculo del gradiente de potencial total se utilizó la medida de θ a 0,5 y 0,7 m de profundidad. Con el valor de θ se utilizó la curva de retención de agua en el suelo para obtener los potenciales mátricos y con estos el potencial total de agua en el suelo en las profundidades mencionadas. El gradiente potencial total se calculó como $(\psi_r^{(0,7)} - \psi_r^{(0,5)})/0,2$, siendo $\psi_r^{(0,7)}$ y $\psi_r^{(0,5)}$ los potenciales totales de agua en el suelo a 0,7 y 0,5 m de profundidad y 0,2 m corresponde a la distancia que separa los puntos considerados para el gradiente, L (Ecuación 2).

La determinación de la conductividad hidráulica en cada momento de medición se realizó según modelo de van Genuchten (1980). Este modelo para el cálculo de $K(\theta)$ requiere del contenido de agua en el suelo que se obtuvo con la lectura de la medición de humedad a 0,60 m de profundidad para luego calcular la conductividad hidráulica como se muestra en el (ítem 2.1.9).

2.1.8 Curva de retención hídrica

La curva de retención se realizó en los siguientes potenciales mátricos 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 y 10 kPa en mesa de tensión y 20; 35; 50; 100; 200; 300 y 500 kPa en las cámaras de Richards (Figura N° 3). Entre los potenciales de 0,5 y 35 kPa se utilizaron muestras no perturbadas y para los demás puntos muestras perturbadas. Las muestras no perturbadas se extrajeron en cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura a 0,6 m de profundidad

totalizando 12 muestras extraídas de una calicata realizada en el lote en estudio, en la que su ubicación fue seleccionada al azar. El mismo procedimiento se realizó para las profundidades 0,5 y 0,7 m. Con estas se determinó también la conductividad hidráulica saturada (ítem 2.1.9) y la densidad del suelo (Blake y Hartge, 1986). A la misma profundidad se extrajo muestra perturbada de suelo para determinar los puntos entre 50 y 500 kPa de tensión. Con estas muestras también se utilizó para determinar la granulometría del suelo según Gee y Or (2002) a la profundidad de extracción.



Figura N° 3. Cámara de presión de Richards para determinación del CRH de suelo.

Cada muestra fue saturada en agua destilada en un lapso de 48 horas. Completada la saturación se colocaron en la mesa de tensión o cámara de Richards según corresponda. Después de alcanzar la condición de equilibrio, se pesó y se colocaron a secar en estufa a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Con estas muestras se calculó la humedad gravimétrica y volumétrica (Gardner, 1986) además de la densidad del suelo.

Los datos obtenidos se ajustaron a la curva de retención de agua usando el modelo de van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\psi|)^n\right]^{1/m}} \quad (3)$$

En la ecuación θ es el contenido volumétrico de agua ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_r es el contenido volumétrico de agua residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_s es el contenido volumétrico de agua en saturación ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ψ es el potencial mátrico (kPa), m y n son constantes.

Para el cálculo de $K(\theta)$ se utilizaron los parámetros de ajuste de la ecuación (3) incorporados en la expresión:

$$K(\theta) = K_s \omega^\ell \left[1 - \left(1 - \omega^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

en el cual, K_s es la conductividad hidráulica del suelo saturado, $m = 1 - 1/n$, ℓ un parámetro empírico y $\omega = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ la saturación relativa del suelo.

Para la determinación de $K(\theta)$ es necesario contar con la conductividad hidráulica de suelo saturado, K_s . Para obtenerla se utilizó el método descrito en el siguiente ítem.

2.1.9 Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica del suelo saturado (K_s) se determinó utilizando la ecuación de Darcy-Buckingham por el método del permeámetro de carga decreciente (Figura N° 4) (Ghiberto, 2009). El procedimiento consistió en un primer paso en saturar las muestras. Inmediatamente después de determinarse el peso saturado, se secó la parte externa del cilindro y seguidamente se pegó con cinta un cilindro de igual diámetro en la parte superior, dentro del cual se apoyó una estructura de alambre como se muestra en la (Figura N° 4). El conjunto se colocó dentro de un recipiente conteniendo gravilla en el fondo con un orificio de salida de agua inicialmente cerrado. El recipiente se completó con agua hasta la parte superior de la muestra y luego, se colocó agua en la parte superior del conjunto, teniendo cuidado de no dañar la superficie. Finalmente, se completó con agua el recipiente hasta su parte superior. El siguiente paso fue abrir la salida de agua del fondo del recipiente y dejar drenar el agua dentro del conjunto midiendo el tiempo que el agua lleva para descender desde t_i (tiempo inicial) hasta



Figura N° 5. Extractor de solución de suelo (izquierda), extracción de solución (derecha).

La concentración de NO_3^- en cada muestra de solución del suelo extraída se determinó utilizando un fotómetro de nitratos marca Hanna modelo HI 96728 (Figura N° 6). El equipo fue inicialmente calibrado con el uso de soluciones de concentraciones conocidas. Los valores que se obtuvieron de concentración de NO_3^- se convirtieron a concentración de N- NO_3^- (C_N) para ser utilizados en la Ecuación 1.



Figura N° 6. Fotómetro de nitratos Hanna HI 96728.

2.2 *Análisis estadístico*

El diseño experimental fue en bloques, cada tratamiento contó con 3 filas como repeticiones con mediciones en una planta por fila ($n=3$) plantas cada una ($N= 3$ plantas/tratamiento). Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el Análisis de la varianza (ANOVA) y Test de comparación de medias Tukey con un valor de significancia de 5%. Dicho análisis se realizó con programa Infostat (Di Rienzo et al. 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Precipitaciones y demanda atmosférica en los ciclos del cultivo.

Teniendo en cuenta los datos provenientes de la estación agrometeorológica de INTA Concordia, durante el período comprendido entre los años 1967 a 2007 la precipitación histórica acumulada es de 951,5 mm, menor en comparación con la precipitación acumulada en ambos períodos de ensayo de septiembre a marzo (Año 1: 1359,4 mm y Año 2: 1120,5 mm). En la (Figura N° 7) se observa que en el Año 1 enero fue un mes atípico con una precipitación de 455,5 mm. Tanto en Año 1 como en Año 2 se presentaron precipitaciones superiores a la media histórica. Esto trae aparejado consigo un importante volumen de agua que no queda retenido en el suelo debido principalmente a elevada percolación por baja retención de los suelos arenosos y en menor medida el escurrimiento superficial. Es por ello, y como menciona Duggan (2001), Arias (2009) que el volumen de agua que puede quedar retenido está directamente relacionado con la mineralogía del suelo y la intensidad con que ocurren las precipitaciones. La temperatura de ambos años siguió una tendencia similar a la media histórica, exceptuando el mes de septiembre del Año 1 donde la media fue 3°C mayor (Figura N°8).

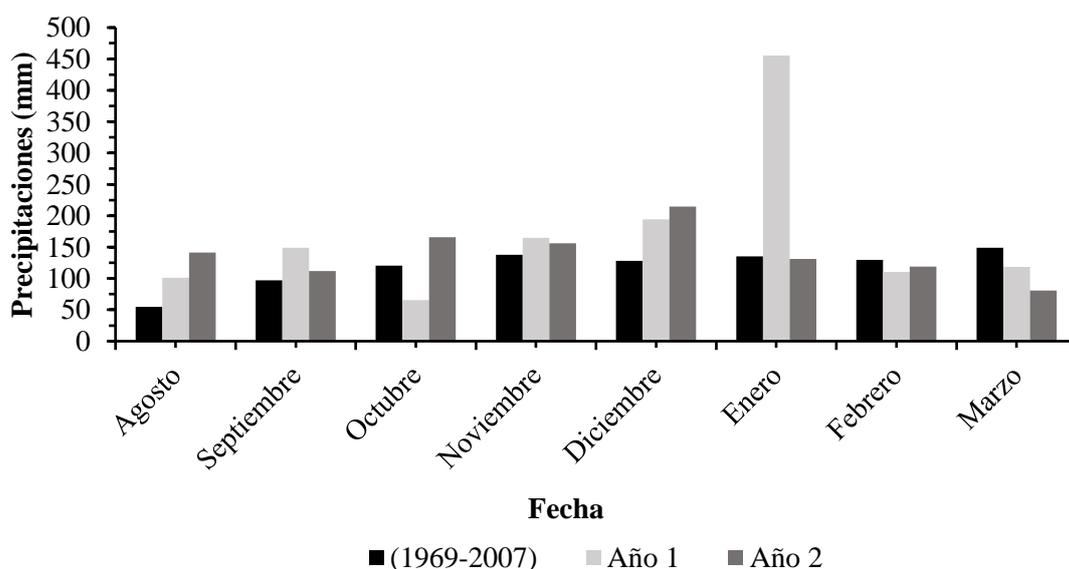


Figura N° 7. Precipitación promedio mensual histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2. Datos estación meteorológica INTA Concordia.

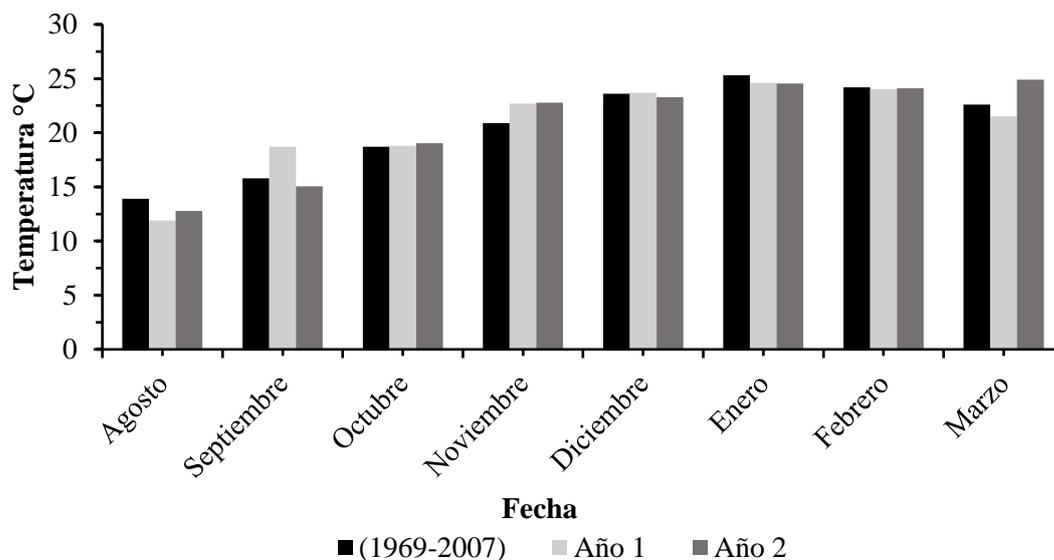


Figura N° 8. Temperatura (°C) histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2 para Concordia. Datos estación meteorológica INTA Concordia.

La evapotranspiración de referencia presenta un régimen diferente al régimen de precipitación. La evapotranspiración de histórica tiene una estacionalidad mucho más marcada. Esta estacionalidad muestra los máximos valores mensuales acumulados en los meses de diciembre y enero, con valores promedio de 161,6 a 166,5 mm mensuales respectivamente. En los mismos meses de los años de ensayos estos valores son menores 134,1 a 102,1 mm en 2018/19 y 126 a 112,98 mm en 2019/20.

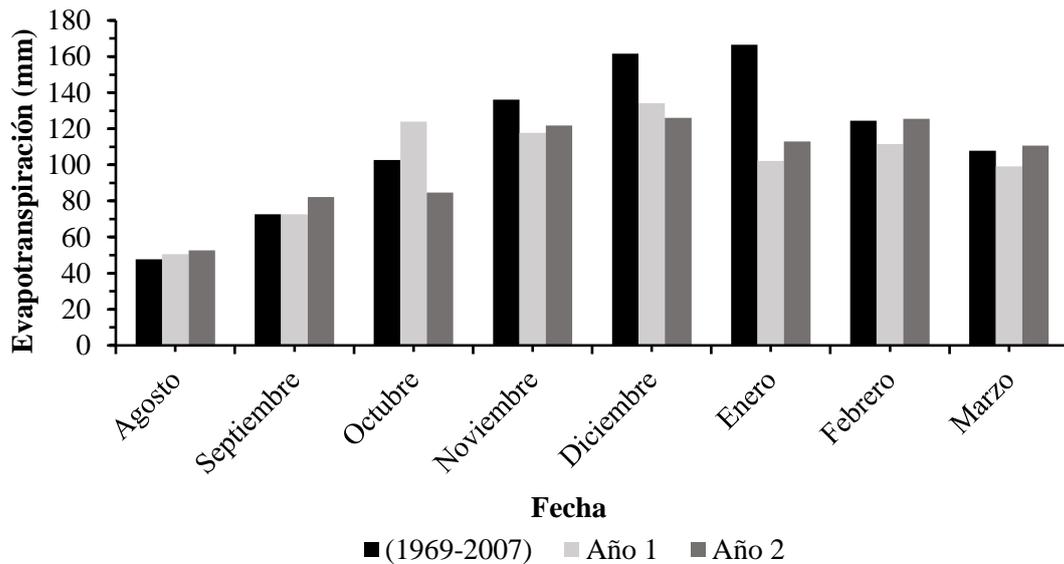


Figura N° 9. Evapotranspiración potencial histórica (1969-2007) y de los Años 1 y 2. Datos estación meteorológica INTA Concordia.

3.2 *Movimiento de agua*

3.2.1 *Propiedades físicas del suelo*

La Tabla N° 2 muestra los resultados de los ajustes de las curvas de retención de cada horizonte del suelo en estudio y en las (Figura N° 10, 11 y 12) se presentan las curvas de retención hídrica (CRH) para los datos experimentales que se obtuvieron, ajustadas al modelo de van Genuchten (1980). Las curvas muestran un comportamiento acorde a un suelo arenoso con una elevada pendiente entre saturación y capacidad de campo. Esto evidencia que el suelo va a perder el agua rápidamente entre esos contenidos de agua. La densidad aparente del suelo determinada fue $1,51 \text{ g cm}^{-3}$ para los 0,6 m de profundidad.

Tabla N° 2. Parámetros de ajuste de las curvas de retención de cada horizonte del perfil de suelo en estudio.

Horizonte	Parámetro	Valor	Desv.estándar	Valor t	Intervalo de confianza 95%		r2
					Inferior	Superior	
0,5	θ_r	0,039	0,007	5,36	0,023	0,054	0,987
	θ_s	0,351	0,013	27,22	0,323	0,379	
	α	0,042	0,005	9,04	0,032	0,053	
	n	2,640	0,265	9,95	2,049	3,231	
0,6	θ_r	0,042	0,007	6,06	0,027	0,057	0,987
	θ_s	0,376	0,019	19,99	0,335	0,417	
	α	0,070	0,015	4,76	0,038	0,103	
	n	1,912	0,138	13,81	1,610	2,214	
0,7	θ_r	0,020	0,013	1,62	-0,007	0,047	0,988
	θ_s	0,340	0,013	26,29	0,312	0,368	
	α	0,046	0,010	4,53	0,024	0,068	
	n	1,613	0,108	15,01	1,381	1,846	

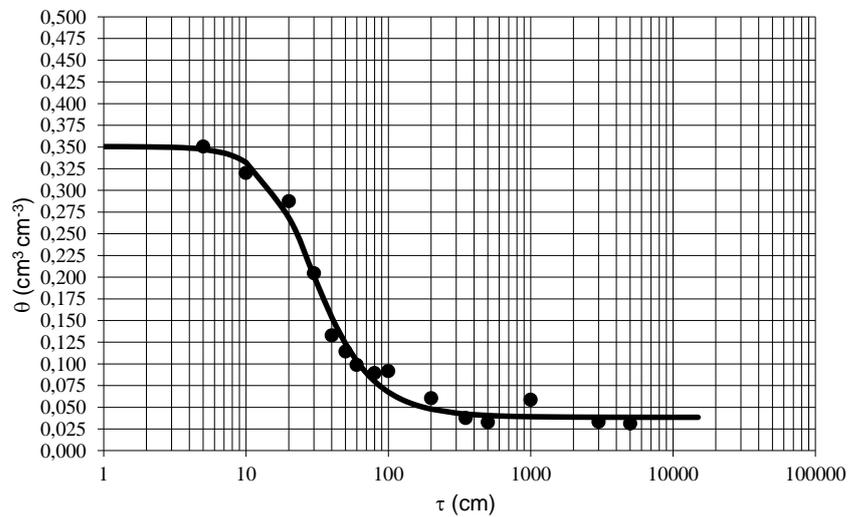


Figura N°10. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,5 m de profundidad.

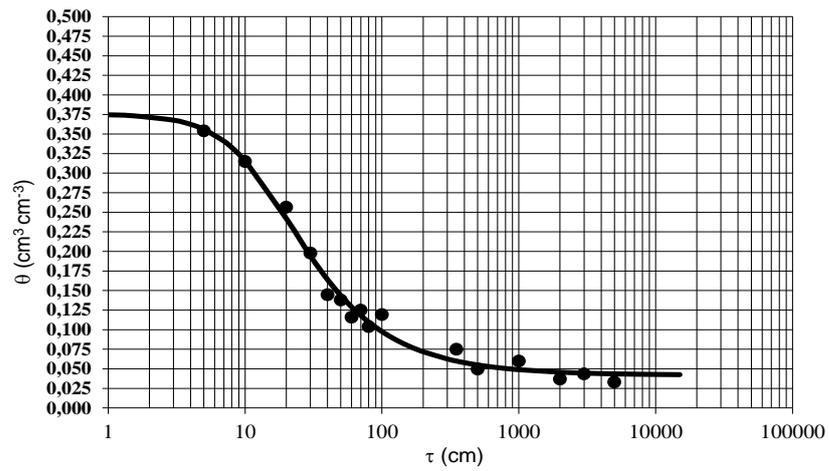


Figura N° 11. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,6 m de profundidad.

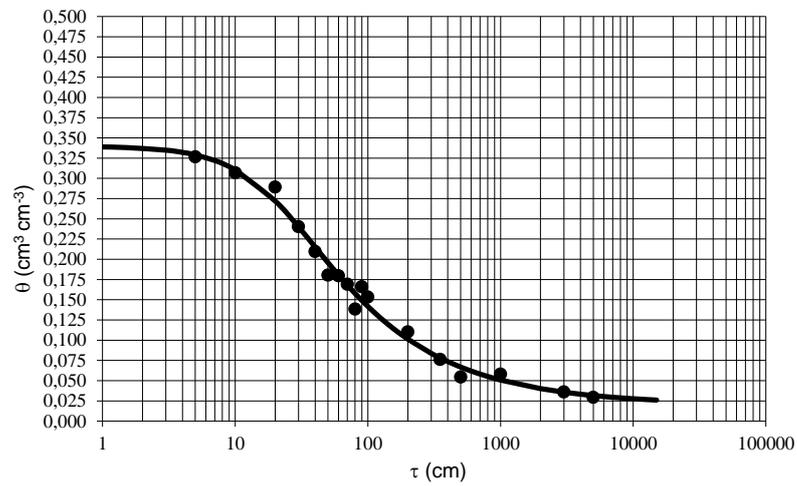


Figura N° 12. Curva de retención hídrica (CRH) a 0,7 m de profundidad.

En la profundidad de control, se realizó un muestreo sobre una calicata ubicada en el lote del ensayo (Figura N° 13), donde el suelo presentó las siguientes propiedades (Tabla N° 3).



Figura N° 13. Calicata; sobre un suelo Cuartzipsament óxico, serie Yuquerí grande, en área experimental.

Tabla N° 3. Propiedades físicas del suelo determinadas en el suelo en estudio.

Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	ρ	PT	θ_{CC}	θ_{PMP}
m	-----%-----			kg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		
0,5	-	-	-	1,531,0(2,9)	0,422	0,068	0,038
0,6	88	4	8	1,510,8(2,5)	0,430	0,098	0,043
0,7	-	-	-	1,701,4(2,3)	0,358	0,142	0,026

Arena, Limo y Arcilla: composición granulométrica; ρ : densidad del suelo; PT: porosidad total calculada como $PT=1-(\rho/\rho_s)$; θ_{CC} y θ_{PMP} : contenido hídrico en capacidad de campo y punto de marchitez permanente a partir de la CRH a 100 y 15.000 cm de tensión. Entre paréntesis, coeficientes de variación (%), n= 12.

Se observa que en la profundidad de control la textura es arenosa, los valores de densidad fueron típicos para esa textura y el coeficiente de variación que se obtuvo es normalmente encontrado para la medida de esa propiedad. Considerando los valores de θ_s (Tabla N° 2) y los valores de θ_{CC} la macroporosidad (M_a) fue de 0,283; 0,278 y 0,198 m³ m⁻³ para las profundidades de 0,5, 0,6 y 0,7 cm de profundidad respectivamente. Esta

macroporosidad es consecuencia de la textura arenosa del suelo y evidencia una elevada capacidad de conducir agua a esa profundidad.

Se obtuvo que la K_s fue $25,7 \text{ mm h}^{-1}$ con un coeficiente de variación del 70,4 %, que no es elevado considerando que la conductividad hidráulica tiene elevada variabilidad. Este valor es de gran importancia ya que se utiliza en el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada e interviene luego en la ecuación de Darcy (Ecuación 2).

3.2.2 Drenaje y ascenso capilar en la profundidad de control

Utilizando la Ecuación 4 y la humedad del suelo en capacidad de campo, el movimiento del agua será casi imperceptible, a 0,6 m de profundidad $K(0,098) = 0,060 \text{ mm d}^{-1}$. Con ello, en contenidos de agua inferiores a capacidad de campo, el movimiento estará determinado prácticamente por la magnitud y dirección del gradiente hidráulico como muestra la Ecuación 2.

Relacionando este aspecto con la evolución del contenido de agua a 0,6 m de profundidad (Figura N° 14 y 15), en ambas campañas estudiadas, se observó que se obtuvieron valores de θ siempre superiores a la capacidad de campo con lo cual debería haber drenaje o ascenso capilar, dependiendo de la dirección del gradiente hidráulico.

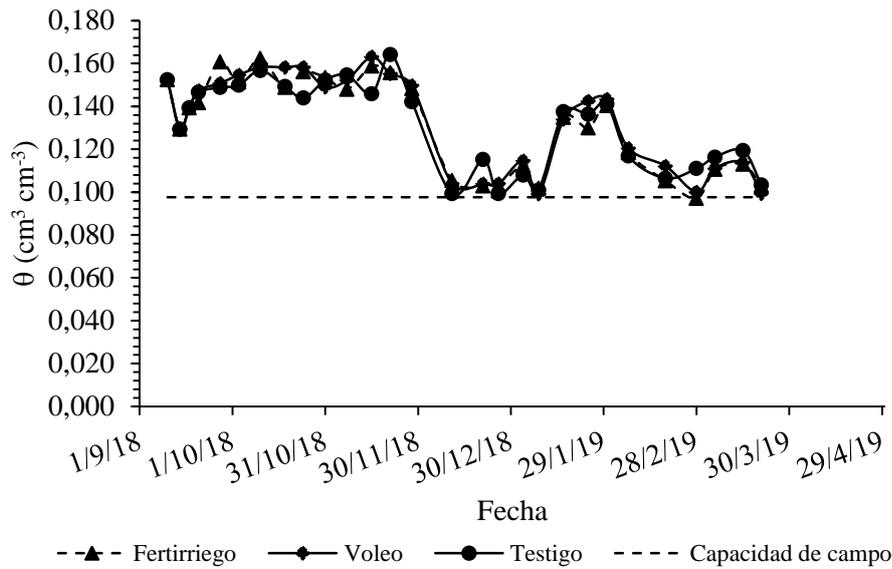


Figura N° 14. Evolución del contenido de agua a 0,6 m de profundidad en Año 1.

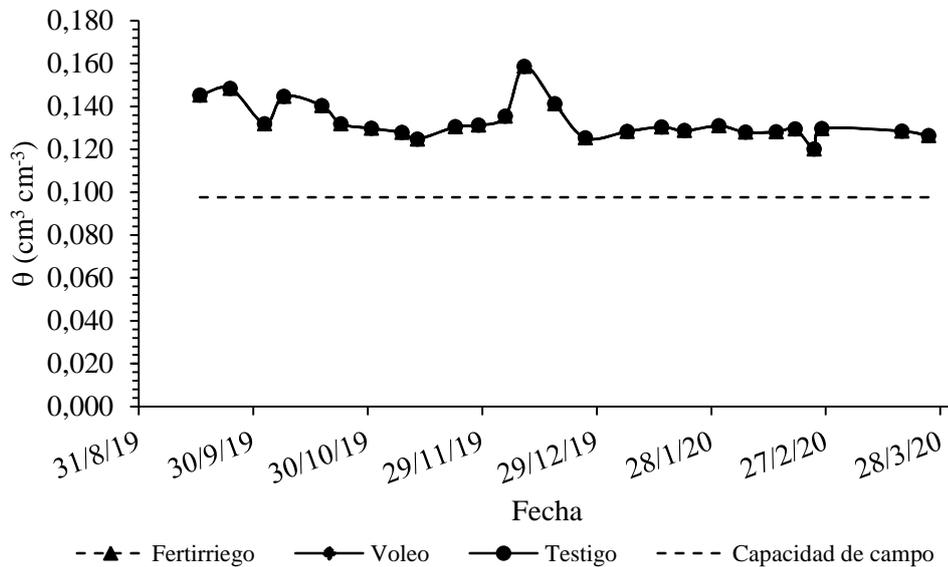


Figura N° 15. Evolución del contenido de agua a 0,6 m de profundidad en Año 2.

El gradiente de potencial total ($\Delta(\psi_t)/L$) en la profundidad de control fue siempre positivo en Año 1 (Figura N° 16). Relacionado a la ecuación de Darcy (Ecuación 2) este resultado nos indica que el flujo de agua fue siempre descendente, predominado el drenaje sobre el ascenso capilar. El resultado tiene relación directa con la pérdida de $N-NO_3^-$ por lixiviación. En Año 2 se obtuvo un comportamiento similar.

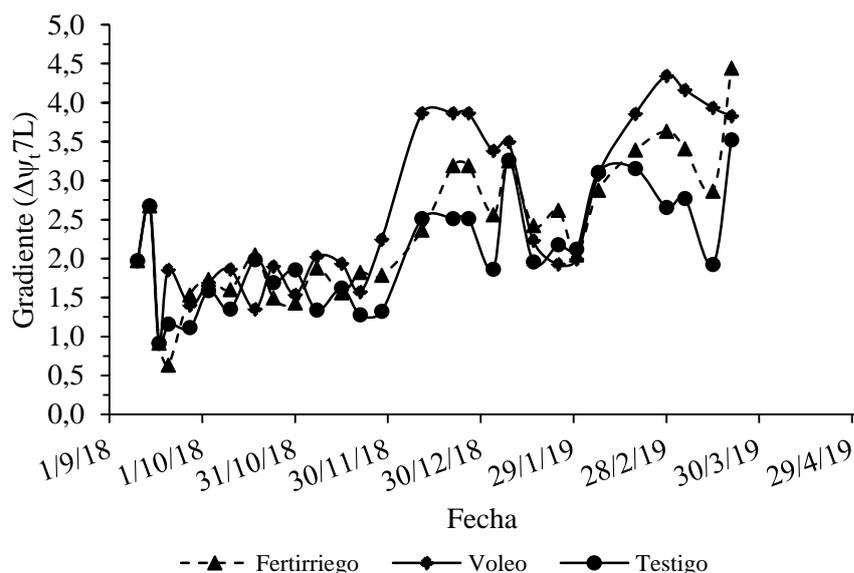


Figura N° 16. Evolución del gradiente de potencial total calculado entre las profundidades de 0,5 m y 0,7 m en Año 1.

3.3 *Evapotranspiración de cultivo y riego.*

Entre los meses de septiembre y marzo se realizó la fertirrigación del tratamiento FR y riego de los tratamientos VL y TG. Todos los tratamientos recibieron a través del riego la misma lámina de agua 71,6 mm en Año 1 y 81,9 mm Año 2. Por medio de las precipitaciones el cultivo recibió 1169,3 mm en Año 1 y 861,7 mm en Año 2. En cuanto a la evapotranspiración se registraron valores similares tanto en Año 1 como en Año 2, 847,6 mm y 852,8 mm respectivamente. Se registró un drenaje en los tratamientos de FG 157,2 mm, VL 180 mm y TG 157,5, que fue comparativamente un 100% más que lámina de riego aplicado a cada tratamiento (Figura N° 17 y 18). Esto se debe principalmente a la ocurrencia de precipitaciones mayores a la capacidad de retención de agua del perfil del suelo.

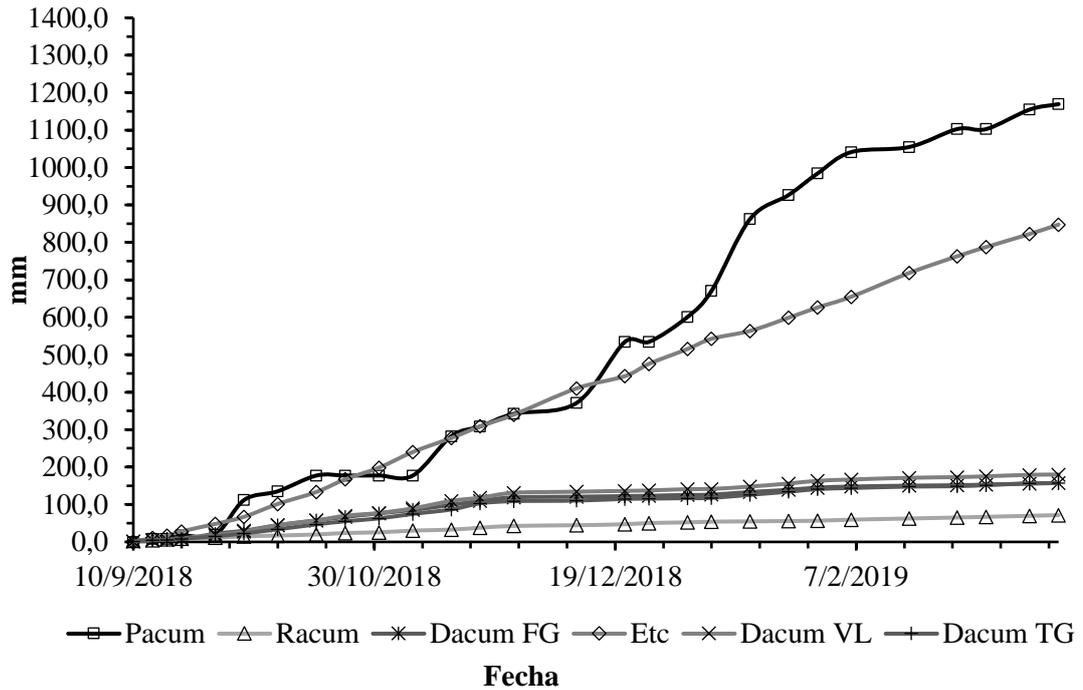


Figura N° 17. Precipitación (Pacum), evapotranspiración (ET_c), riego (Racum) y drenaje (Dacum) acumulados durante Año 1 de experimento en los tratamientos FG, VL y TG.

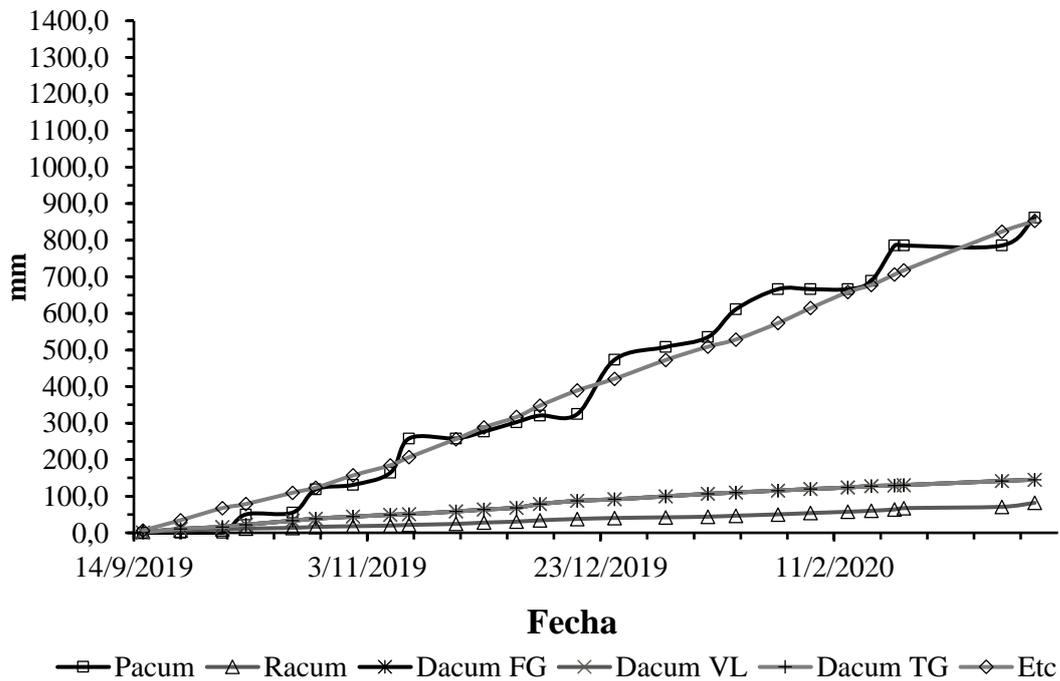


Figura N° 18. Precipitación (Pacum), evapotranspiración (ET_c), riego (mm) y drenaje (mm) acumulados durante Año 2 de experimento en los tratamientos FG, VL y TG.

3.4 Concentración de N-NO₃⁻ en la solución del suelo

En forma general, se destaca que el potencial mátrico a 0,6 m de profundidad en todos los ensayos, estuvo comprendido entre -42 y -101 cm_{ca} en el Año 1 y entre -43 y -68 cm_{ca} en el Año 2, valores que no dificultaron la extracción de solución del suelo con el extractor de solución del suelo con cápsula porosa utilizado en el experimento.

La concentración media de N-NO₃⁻ en Año 1 en el tratamiento TG fue de 1,7 mg L⁻¹ y de 10,2 y 14,7 mg L⁻¹ para FG y VL respectivamente. Se registraron valores máximos de concentración de 31,7 mg L⁻¹ en el tratamiento VL y de 19,3 mg L⁻¹ en FG (Figura N° 19). En Año 2, concentración media de N-NO₃⁻ en el tratamiento TG fue de 0,7 mg L⁻¹ y de 4,4 y 9,2 mg L⁻¹ para FG y VL respectivamente. Se registraron valores máximos de concentración de 32,3 mg L⁻¹ en el tratamiento VL y de 15,3 mg L⁻¹ en FG (Figura N° 20).

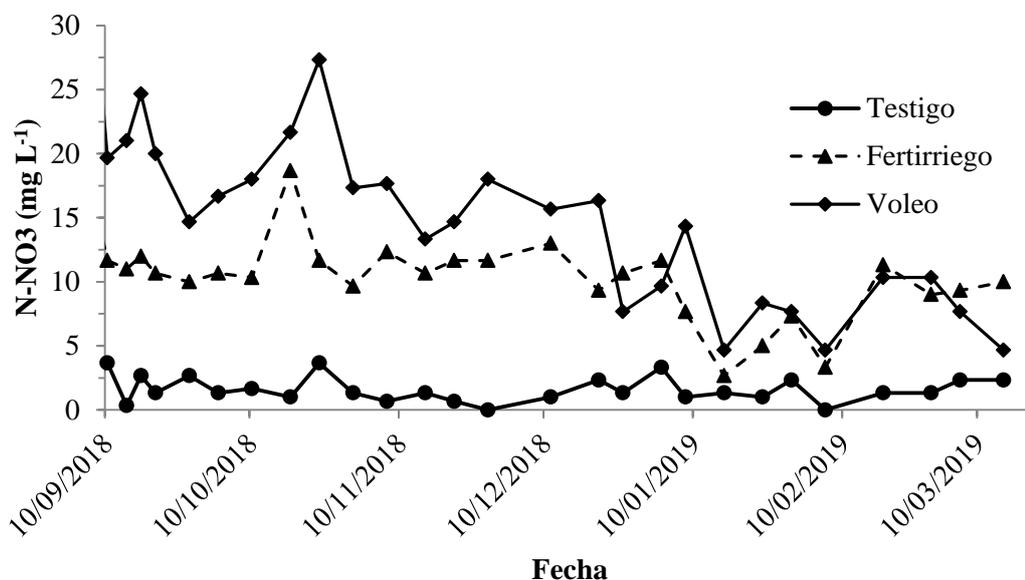


Figura N° 19. Evolución de la concentración de N-NO₃⁻ a 0,6 m de profundidad en Año 1 y de mediciones para los tratamientos Testigo, Fertirriego y Voleo.

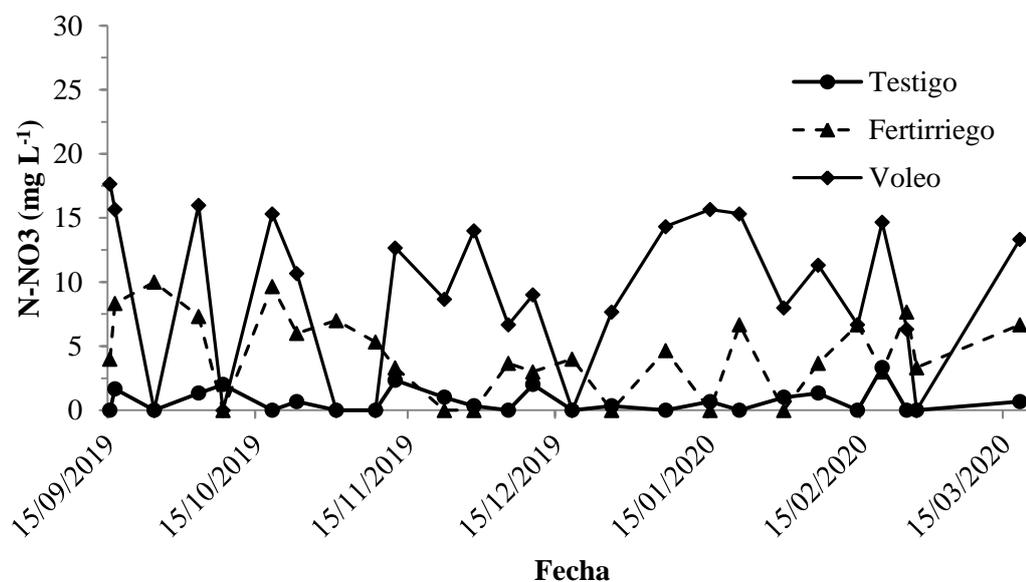


Figura N° 20. Evolución de la concentración de $N-NO_3^-$ a 0,6 m de profundidad en Año 2 y de mediciones para los tratamientos Testigo, Fertirriego y Voleo.

Se encontró que las concentraciones de $N-NO_3^-$ en el tratamiento VL, fueron mayores a lo largo del tiempo que los tratamientos de FG y TG para ambos años ($p < 0,05$). Si bien esto tiene una relación directa con la lixiviación, la misma no fue proporcional, puesto que lo que nos indicó que hubo o no lixiviación fue el flujo de agua en el momento que se extrajo la muestra, pudiendo tener altas concentraciones de $N-NO_3^-$ que no afectan el resultado final gracias a flujos estacionarios o ascendentes de la lámina de agua.

En estudios de Alva et al. (2006) en tratamientos con altas dosis de $280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N, (aproximadamente un 85% mayor a la utilizada en este ensayo) dieron como resultado concentraciones de $N-NO_3^-$ en la solución del suelo de 10 mg L^{-1} en las profundidades de muestreo de 60 y 120 cm, siendo estos valores similares a los encontrados en los tratamientos de FG.

Es posible, que al utilizar la urea como principal fuente de N, parte del N lixiviado se haya perdido de la forma del ión amonio y por lo tanto no haya sido contabilizado en la lixiviación total. Esto lo demuestran Arias-Suárez et al. (2009) en sus trabajos, donde evaluaron que la fracción amoniacal ($N-NH_4^+$) lixiviada fue mayor a la nítrica ($N-NO_3^-$). Debido a que en las primeras etapas de los riegos se registran mayores valores de NH_4^+ que luego disminuye

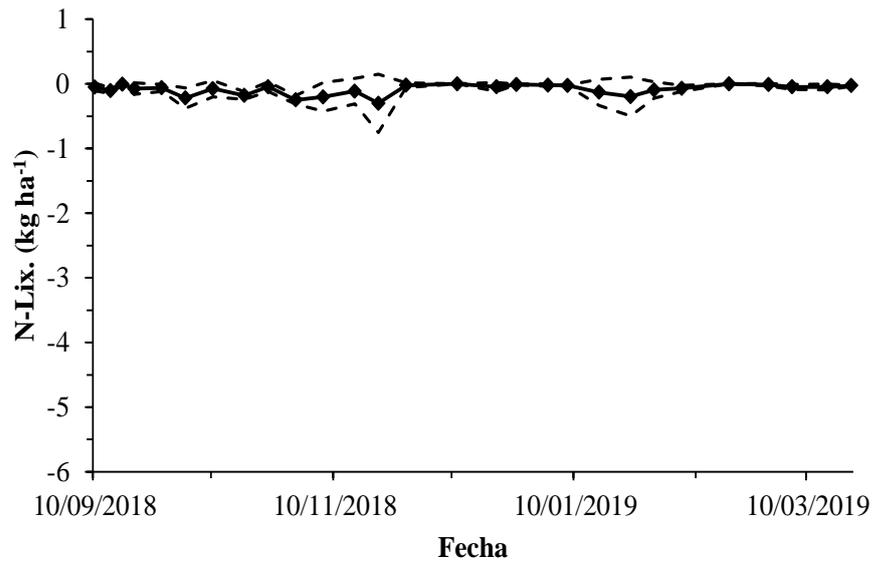
gradualmente, comportamiento que se relaciona con la transformación de NH_4^+ a NO_3^- por nitrificación. En este sentido, Araujo et al. (2004) señala que la transformación de urea a NO_3^- puede ocurrir en un lapso de una semana luego de la fertilización y Nkrumah (1989) que la hidrólisis a NH_4^+ es un proceso que ocurre 7 horas después de aplicar el fertilizante.

3.5 *Lixiviación de N- NO_3^-*

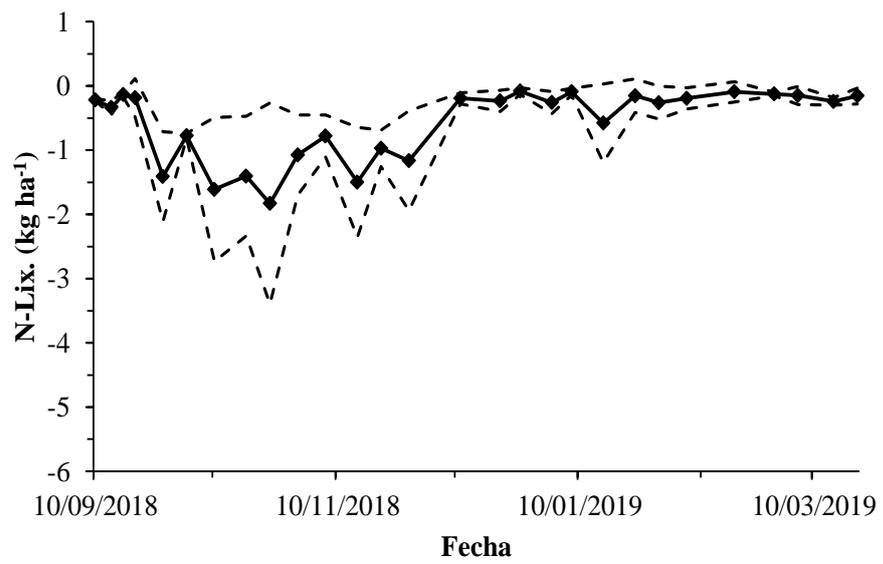
Tanto en Año 1 como en Año 2 se observó que, como predominó el drenaje sobre el ascenso capilar en todo el ciclo, el nitrógeno se perdió por lixiviación en la profundidad de control (Figura N° 21 y 22).

En el caso del tratamiento testigo, la evolución de la lixiviación de N- NO_3^- no mostró picos en el tiempo, acorde con la baja concentración de N- NO_3^- en la solución del suelo (Figura N° 21 y 22) registrada en la profundidad de control, la lixiviación fue menor que en los tratamientos fertilizados. Por otro lado en las Figura N° 21 y 22 tanto en los tratamientos de FG como VL se observaron momentos en los que la lixiviación fue más acentuada. Estos valores coinciden con momento de mayor concentración de N- NO_3^- en la solución del suelo.

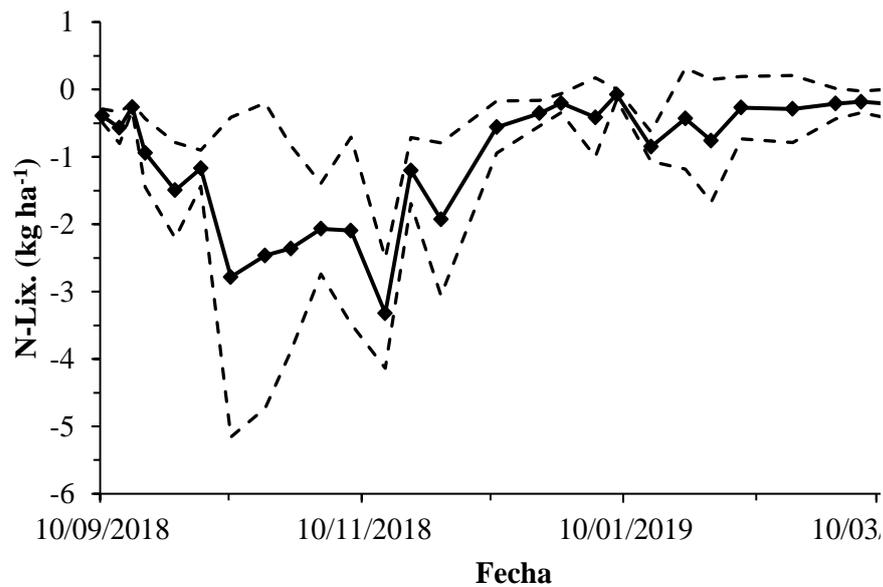
Se puede observar en Año 1 y en Año 2 que en el tratamiento con aplicación por VL la variabilidad fue mayor que en FG (Figura N° 21 b c y 22 b c), hecho que se puede atribuir al método de aplicación.



(a)

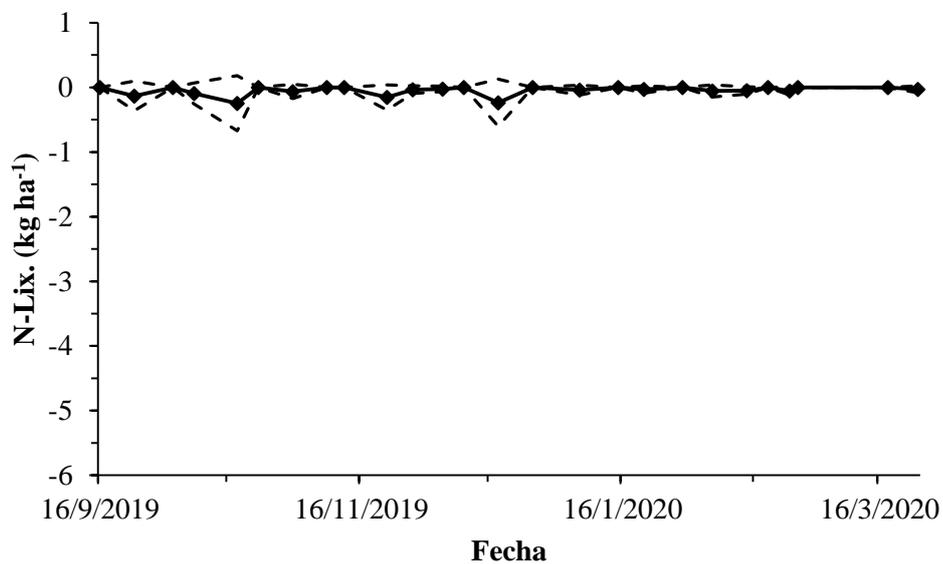


(b)

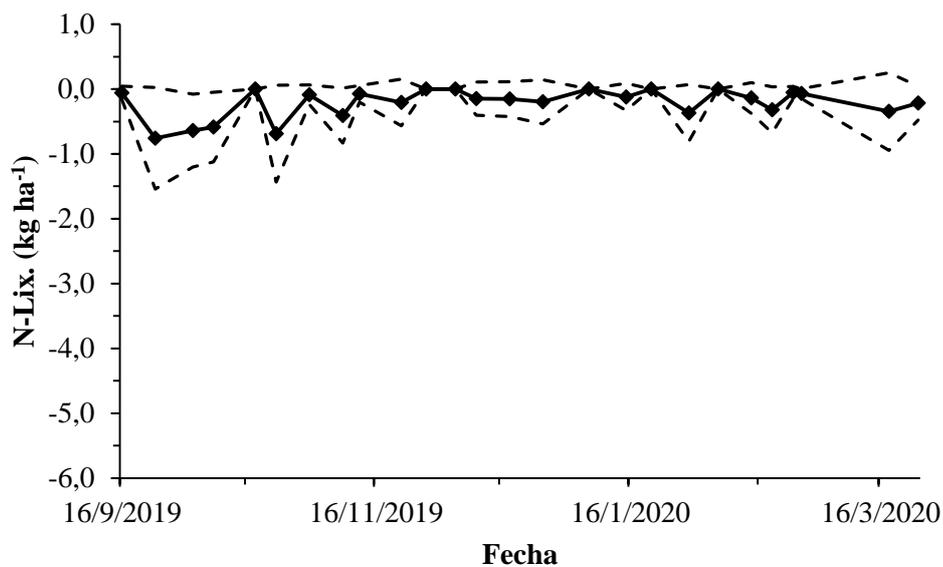


(c)

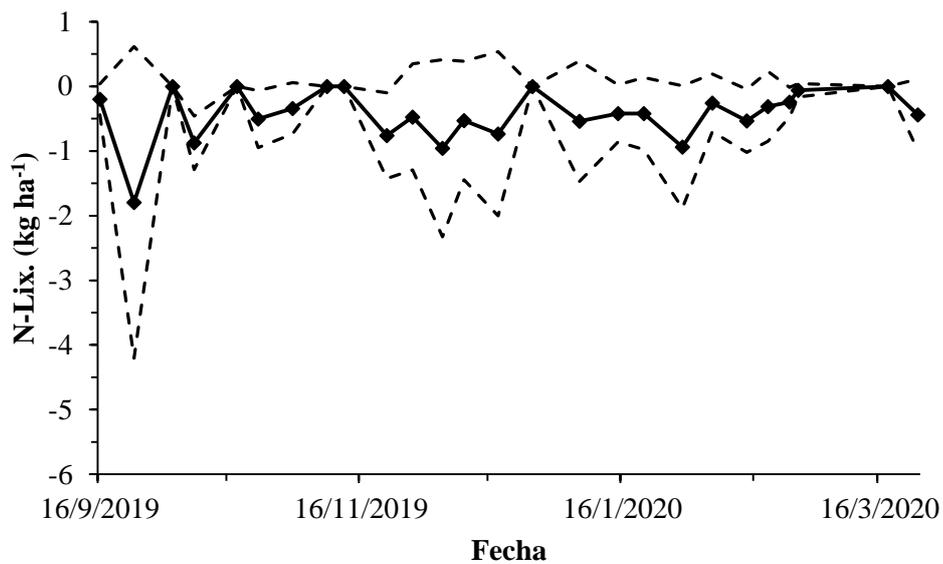
Figura N° 21. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en el Año 1 y en los tratamientos (a) Testigo; (b) Fertirriego y (c) Voleo. La línea sólida indica la cantidad lixiviada y las líneas punteadas la cantidad lixiviada con una amplitud de una desviación estándar. Valores negativos indican pérdidas de la profundidad de control y valores positivos ganancias en la profundidad de control.



(a)



(c)



(c)

Figura N° 22. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en el Año 2 y en los tratamientos (a) Testigo; (b) Fertirriego y (c) Voleo. La línea sólida indica la cantidad lixiviada y las líneas punteadas la cantidad lixiviada con una amplitud de una desviación estándar. Valores negativos indican pérdidas de la profundidad de control y valores positivos ganancias en la profundidad de control.

Si bien las cantidades de N-NO_3^- (kg ha^{-1}) lixiviadas (N-Lix) para un mismo tratamiento en los diferentes años es distinta y con diferencia significativas según el análisis estadístico ($p < 0,05$), se observa la misma tendencia ambos años de ensayo, donde en el Año 1 el tratamiento VL lidera la cantidad lixiviada con $27,9 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido por los tratamientos FG $11,76$ y TG $2,41 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-Lix. (Figura N° 23). En el Año 2 se repite la tendencia con menores valores, donde VL registró $11,33$, seguido por los tratamientos FG $3,23$ y TG $1,25 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-Lix (Figura N° 24). Teniendo en cuenta que la suma de fertilizantes aplicados fue la misma, esta diferencia entre años es atribuida principalmente al mayor volumen de agua proveniente de las precipitaciones ocurridas en el primer año, Año 1: $1359,4 \text{ mm}$ y Año 2: $1120,5 \text{ mm}$.

En trabajos similares, Ramos et al. (2002) observaron que la tasa de lixiviación de nitratos varió de menos de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N a aproximadamente $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N para tasas de aplicación de N que varían de aproximadamente 60 a $520 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N. A su vez marcó la importancia de regular las dosis de fertilizantes nitrogenados puesto que sus principales resultados marcaron que la reducción de alrededor del 50% de las tasas de aplicación de fertilizantes nitrogenados tradicionales, produjo en promedio una disminución del rendimiento de alrededor del 5% y una reducción de la lixiviación de nitratos de alrededor del 50%. Estos datos se asemejan a los encontrados en este ensayo, aún con valores bajos se ve una disminución de lixiviado de N, un 58 % en Año 1 y del 72% en Año 2 de disminución de lixiviado de N-Lix kg ha^{-1} con la aplicación fraccionada de N mediante fertirriego frente a la aplicación convencional.

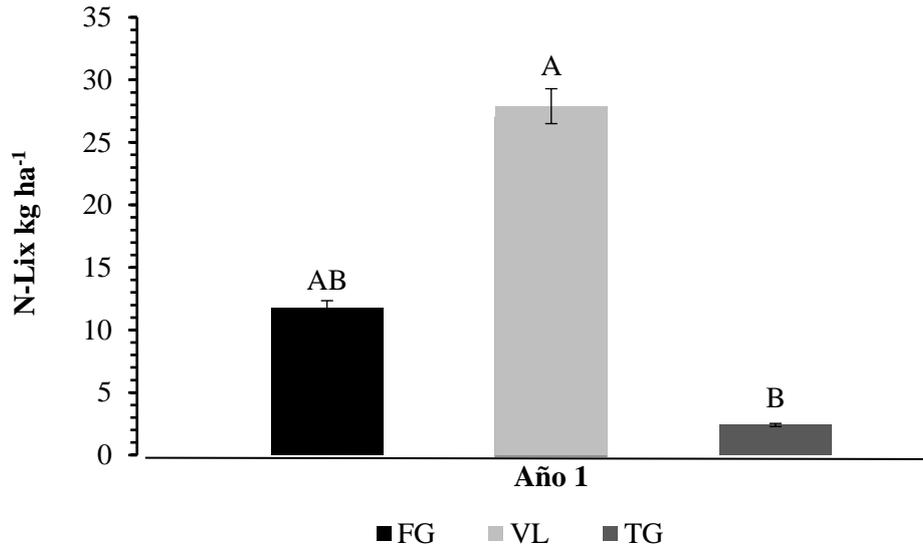


Figura N° 23. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en kg ha⁻¹ para Año 1. Letras distintas indican diferencia significativa Tukey ($p < 0,05$), anexo 2.

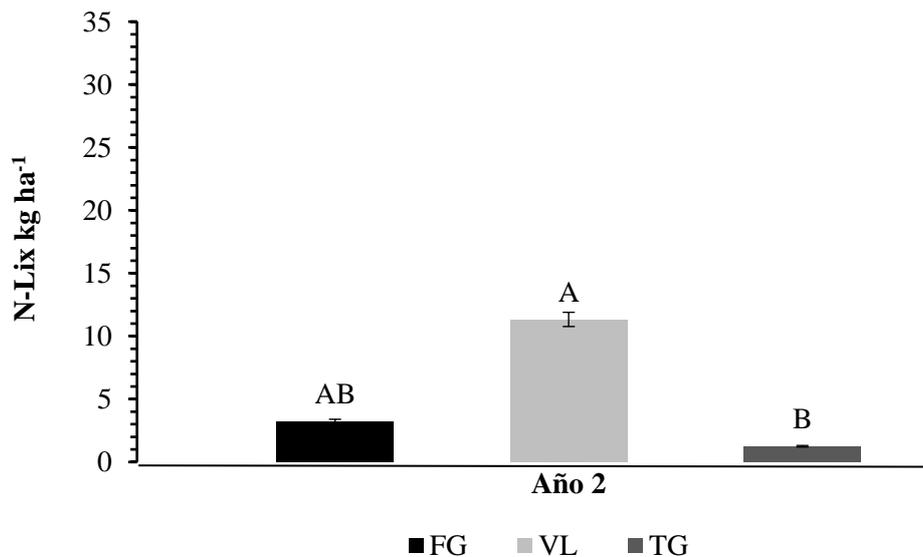


Figura N° 24. Lixiviación de nitrógeno (N-Lix) en kg ha⁻¹ para Año 2. Letras distintas indican diferencia significativa Tukey ($p < 0,05$), anexo 2.

En la (Figura N° 23 y 24) se observa el nitrógeno lixiviado en cada tratamiento para cada fecha de extracción por un lado y por otro las precipitaciones acumuladas en el lapso de dos extracciones de solución consecutivas. El comportamiento del nitrógeno en los tratamientos FG y TG se observa en su mayoría constante a lo largo del tiempo. Si bien en FG se registran mayores pérdidas que en TG, no muestran picos que sobresalgan, lo que podemos atribuir a menores dosis por cada aplicación debido al fraccionamiento. En lo que respecta al tratamiento

VL se observan dos picos sobresalientes que coinciden en proximidad a la fecha de aplicación del fertilizante de ese tratamiento (10/9/2019 11/10/2019 y 14/12/2019); (15/9/2020 8/10/2020 28/11/2020) y con las precipitaciones, posibles causantes del movimiento del nitrógeno en el perfil. Sumado a esto, algunas de las fechas donde se marcan los picos, coinciden con una etapa donde, si bien el cultivo requiere altas cantidades de nitrógeno, la temperatura ambiente marca un desarrollo lento de los procesos fisiológicos, con lo que la absorción de nutrientes se ve reducida, lo que provoca, como indica Martínez-Alcantara (2010), que el nitrato residual este susceptible a lixiviación ante riegos prolongados o lluvias abundantes (Figura N° 25 y 26).

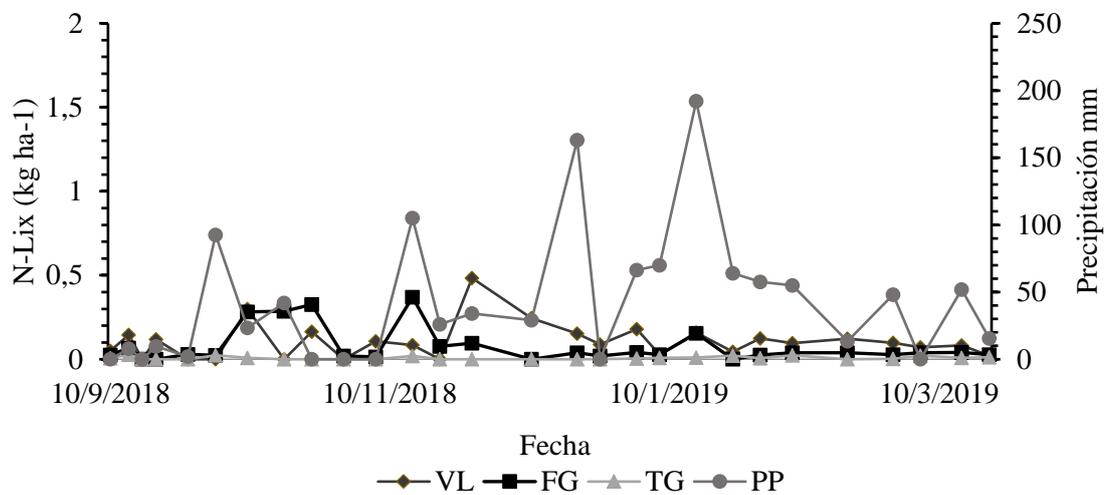


Figura N° 25. Influencia de las precipitaciones en la lixiviación de N-NO₃⁻ Año 1.

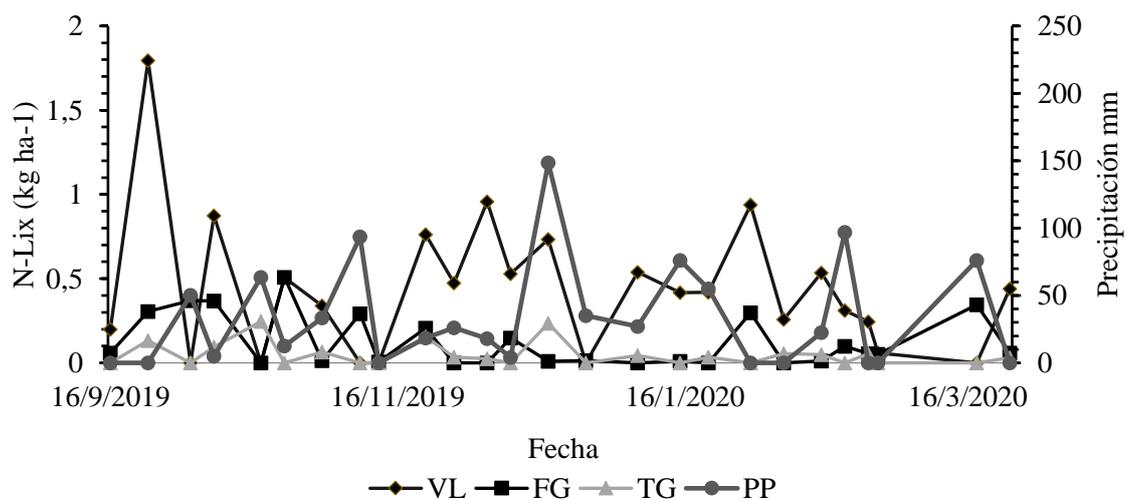


Figura N° 26. Influencia de las precipitaciones en la lixiviación de N- NO₃⁻ Año 2.

3.5.1 Relación entre la concentración de nitratos y la lixiviación de N- NO₃⁻

En uno de los ejes de la Figura N° 27 podemos observar el N-Lix (kg ha⁻¹) y en el otro las concentraciones de N-NO₃⁻ que se midieron en cada muestra extraída de los extractores de solución. Puesto que para el cálculo de los N-Lix (kg ha⁻¹) contempla el valor del flujo del agua en el perfil del suelo, se puede apreciar que, el patrón que sigue el nitrógeno medido en cada muestra y el lixiviado, no siempre son similares ya que los flujos de agua que provocaron lixiviación dependieron principalmente de las precipitaciones y del agua que dejaron estas en el perfil.

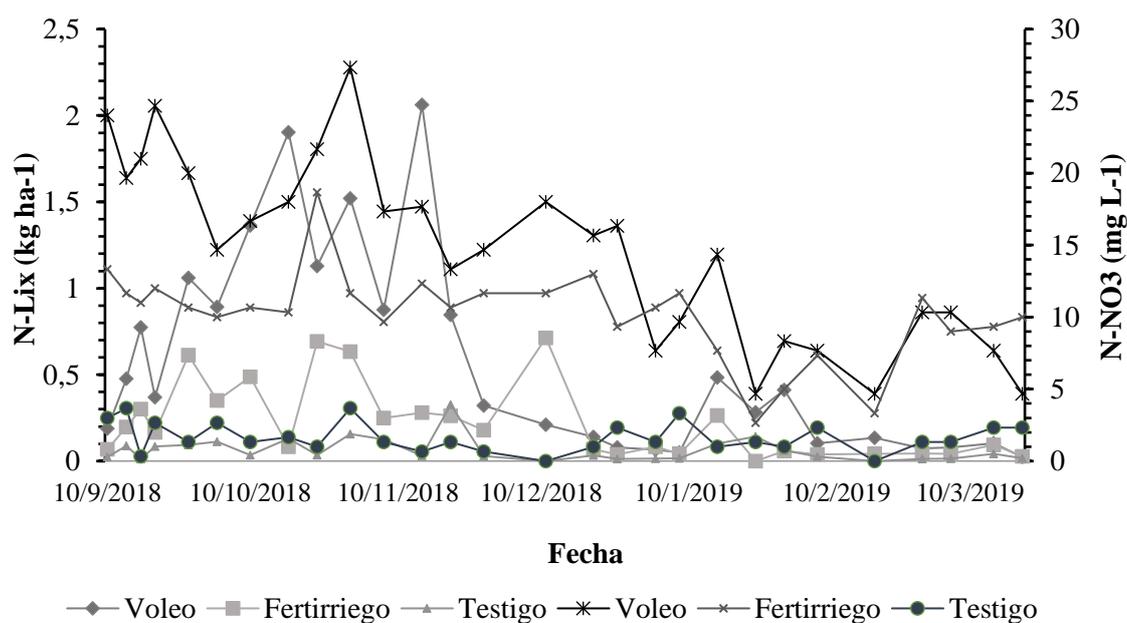


Figura N° 27. Evolución de las concentraciones de nitratos y la lixiviación de N- NO₃⁻

Lo que se observa en este gráfico es la evolución en el período de ensayo de, por un lado, el N-Lix (kg ha⁻¹) y por otro los N- NO₃⁻ (mg L⁻¹) promedios de cada tratamiento.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la hipótesis planteada, donde la falta de fraccionamiento de la fertilización nitrogenada sobre suelos arenosos de alta permeabilidad, favorece la lixiviación de nitratos se concluye que al fraccionar la fertilización en el cultivo de naranjas, a través de técnicas como la fertirrigación, se disminuyeron los valores de nitrógenos lixiviados N-Lix (kg ha^{-1}). Dichos valores fueron significativamente menores en el tratamiento donde se fraccionó la fertilización Año 1: FG 11,76 vs VL 27,90 (kg ha^{-1}) y Año 2: FG 3,23 vs VL 11,33 N-Lix (kg ha^{-1}), aún con diferente régimen de precipitaciones entre años.

Lo ocurrido en ambos años de ensayo muestra la importancia que adquiere la distribución anual de las precipitaciones en las estrategias de manejo del agua y el fraccionamiento de las dosis de fertilizantes nitrogenados.

Sería interesante seguir evaluando el presente trabajo, en el que se estudió las pérdidas de nitrógeno solo en la forma de nitratos, nuevas formas de pérdida del nitrógeno en el sistema. Estas incluirían lixiviación de compuestos nitrogenado como el amonio y volatilización de amoníaco.

CAPÍTULO III

***COMPORTAMIENTO Y RESPUESTA DE NARANJA SALUSTIANA CON DIFERENTES
ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN***

5. **INTRODUCCIÓN**

El riego y la nutrición son fundamentales para un buen desarrollo del cultivo; pues este permite que las plantas mantengan un flujo constante de agua y nutrientes del suelo hacia las hojas, y así favorecer la fotosíntesis y la transpiración, con lo cual se obtienen arboles más vigorosos con mayores y mejores frutos, mayor cobertura de hojas y mayor productividad (Coelho et al. 2004).

Al igual que otros cultivos frutales, el nitrógeno es uno de los nutrientes mejor estudiados en la producción de cítricos, en gran parte debido a su alto requerimiento por parte de este cultivo. El nitrógeno se requiere en muchos procesos, incluido el crecimiento vegetativo y reproductivo. En los cítricos, las hojas nuevas y la fruta en desarrollo acumulan una gran cantidad de nitrógeno (Feigenbaum et al. 1987). La fertilización nitrogenada es beneficiosa para los cítricos, que requieren nitrógeno en concentración óptima para buen rendimiento y calidad de frutos. La deficiencia y la cantidad excesiva del mismo pueden ser perjudiciales para la calidad de la fruta y no beneficioso para el rendimiento. Su deficiencia se manifiesta con el amarillamiento de las hojas, falta de brotación, floración muy abundante y falta de cuajado de los frutos, que redundan en una cosecha extremadamente reducida (Anderson et al. 1996). Los resultados de estudios sobre fertilización en lima ácida Tahiti han demostrado que el aumento de las aplicaciones de nitrógeno incrementa la producción de frutos, contenido de aceite en la cáscara y que, además, retarda la maduración de los frutos (Koo et al. 1974; Rodríguez 2002). Sin embargo, las características de la calidad de fruta fueron afectadas por tasas de nutrientes solamente después de un segundo año del uso de fertilizantes.

Por ejemplo, en las condiciones de Florida, se recomiendan $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para un rendimiento óptimo con buena calidad de la fruta (Alva et al. 2006); sin embargo, una mayor tasa de nitrógeno no mejora el rendimiento y puede reducir la calidad de la fruta (Alva et al. 2006; He et al. 2003). Por otro lado, en lo que al riego respecta, Alves (2006) reporta para

Piracicaba, Brasil, que el mejor desempeño del cultivo cítrico se alcanza con el niveles de reposición del agua del 100 % ETo.

Tanto agua y nutrientes interacción continuamente, Alva et al. (2006) estudiaron dichas interacciones entre nitrógeno y las prácticas de riego en cítricos en suelos arenosos y reportaron que la mejor dosis de nitrógeno está en un rango de 112 a 280 kg/ha ano aplicados por fertirriego.

Considerando lo mencionado anteriormente, el objetivo de este capítulo fue evaluar rendimiento, contenido de nitrógeno total en hojas, calidad interna de fruta y el comportamiento fenológico de naranja var. Salustiana en diferentes tratamientos de fertilización.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental y diseño utilizado corresponde al mismo que el utilizado en el Capítulo II.

6.1 Mediciones en el cultivo

6.2 Análisis estadístico

Para mediciones de calidad interna de fruta y concentración de nutrientes en hoja se tomaron muestras al azar de la totalidad de plantas de la fila afectadas bajo el mismo tratamiento (N=54 plantas/tratamiento). Para la evaluación del comportamiento fenológico, se seleccionó 1 planta por repetición, (N=3 plantas/tratamiento). Por último, para la determinación del rendimiento se seleccionaron 3 plantas por repetición, (N=9 plantas/tratamiento). Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el Análisis de la varianza (ANOVA) y Test de comparación de medias

Tukey con un valor de significancia de 5%. Dicho análisis se realizó con programa Infostat (Di Rienzo et al. 2016).

6.2.1 *Monitoreo fenológico*

Para cada tratamiento se registró cada 15 días las etapas de brotación y de floración mediante observaciones en 3 árboles por tratamiento siguiendo la metodología mencionada por Garrán et al. (1993). La misma se realizó mediante observación visual, registrando el número de los diferentes estadios vegetativos y reproductivos.

6.2.2 *Diagnóstico nutricional*

Los análisis foliares se realizaron como una metodología de control sobre el estado nutricional de la planta. La toma de estas muestras es un complemento de la toma de muestras con los extractores de solución.

Las muestras foliares se hicieron según la metodología recomendada por Manual para productores de naranja y mandarina de la región del río Uruguay (Banfi, 1996).

El muestreo se realizó sobre hojas pertenecientes a ramas terminales con frutos, generalmente las tres hojas inmediatas posteriores al fruto, formadas en la brotación primaveral (Figura N° 28). Se tomó 1 muestra compuesta por cada tratamiento, de las que se tomó muestras de 100 hojas cada una. Las mismas fueron tomadas en el mes de febrero en los Años 1 y 2. Las hojas fueron lavadas, secadas en estufa a 65°C durante 48 hs. y almacenadas en bolsas de papel hasta su posterior análisis en el laboratorio de suelos de la EEA INTA Concordia.



Figura N° 28. Toma de muestras foliares en ramas con fruto.

6.2.3 Determinación de rendimiento

En el período que los frutos alcanzaron la madurez comercial, el 28/05/19 para Año 1 y 10/06/2020 para Año 2 (Figura N° 29), se realizó una cosecha manual. Se tomaron 9 plantas por tratamiento para obtener el rendimiento individual por planta en kg pl^{-1} . La cosecha fue pesada en una balanza de campo portátil y volcada en cajones para su acopio (Figura N° 30).



Figura N° 29. Lote de naranja Salustiana previo a cosecha 2019.



Figura N° 30. Bins de fruta. Cosecha de tratamientos.

6.2.4 *Calidad interna de fruta*

En un período de 2 meses previos a la fecha estimativa de cosecha, se analizó 4 muestras de 5 frutos recolectados por planta por tratamiento (Figura N° 32), 1 muestra cada 15 días. Para ellos se siguió la metodología recomendada por protocolo de producción de cítricos del INTA EEA Concordia (Anderson, C. y col., 2016).

Con la utilización de un calibre digital se midió el diámetro ecuatorial (mm) (Figura N° 33) y con balanza electrónica se realizó la medida del peso (g) de dichos frutos. Se cuantificó el porcentaje de jugo, a través de la relación entre el volumen de jugo, obtenido por medio de un exprimidor y el peso total de la muestra.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se midió por refractometría (°Brix), con un refractómetro óptico de mano con rango 0 - 53 °Brix. La acidez total (A), se calculó por titulación con NaOH (0.1N) utilizando fenolftaleína como indicador (Figura N° 34). La

determinación de la madurez comercial se calculó por medio de la relación entre SST y A que constituye el índice de madurez (IM).



Figura N° 31. Recolección de muestras de naranja Salustiana para análisis de calidad.



Figura N° 32. Medición de calibre en naranja Salustiana.



Figura N° 33. Extracción de jugo para titulación de muestra de sólidos solubles y acidez.

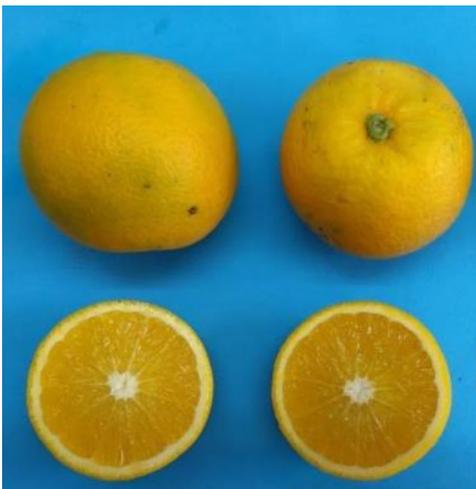


Figura N° 34. Vista de fruta entera y corte ecuatorial de fruta de naranja Salustiana.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1.1 Monitoreo fenológico

Se puede observar en la Tabla N° 4 que el inicio de las brotaciones para ambos años se observó desde inicios del mes de septiembre, diferenciándose solo el testigo en el Año 2, el cual marca su inicio de brotación dos semanas más tarde, junto con su inicio de floración. En cuanto a la floración, en el Año 2 se observó una diferencia semanal entre tratamientos para la plena

floración. En el Año 1 se observó una brotación y floración pareja en los diferentes tratamientos. La actividad y secuencia fenológica es coincidente con la evaluada por Garrán et al. (2005) y Rivadeneira, (2012), en la misma zona.

Tabla N° 4. Distribución porcentual de los distintos estadios fenológicos

Etapa Fenológica	TG Año 2	VL Año 2	FG Año 2	TG Año 1	VL Año 1	FG Año 1
Inicio brotación	17/9/2020	3/9/20	3/9/2020	5/9/2019	5/9/2019	5/9/2019
Inicio floración	17/9/2020	10/9/20	17/9/2020	5/9/2019	5/9/2019	5/9/2019
Plena floración	24/9/2020	17/9/20	1/10/2020	18/9/2019	18/9/2019	18/9/2019
Cuaje	1/10/2020	1/10/20	8/10/2020	15/10/2019	15/10/2019 9	15/10/2019

Analizando entre años, las fechas de inicio de brotación a plena floración, fueron similares entre tratamientos, estando estos cambios más relacionados con las temperaturas invernales.

7.1.2 Análisis foliares de Año 1 y Año 2.

La concentración nutrimental en hojas, depende de la eficiencia o ineficiencia del portainjerto para absorber determinados nutrientes Pérez-Zamora (2005). Lo que en este ensayo no fue una variable, puesto que se utilizó el mismo portainjerto para todos los tratamientos. Siguiendo como guía el cuadro de rangos de concentración de nutrientes (Anexo 4), basados en muestras de hojas de 4 a 7 meses de edad, para hojas de ramas fructíferas, podemos observar diferencias significativas ($p < 0,05$) en la concentración de N en hojas, donde el tratamiento FG para ambos años presenta una concentración óptima, seguido por el tratamiento VL, donde ya se observa una disminución en la concentración de N, encontrándose en el límite inferior del rango bajo. Por último el tratamiento testigo que presenta un primer año de concentración baja seguido por un año donde se marca un déficit (Tabla N° 5).

Tabla N° 5. Porcentaje de nitrógeno en hojas promedio de cada tratamiento para Año 1 y 2. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre tratamientos. Análisis de la varianza anexo 5.

AÑO	TRATAMIENTOS	% N
1	FG	2,27 A
1	VL	1,92 BC
1	TG	1,91 C
2	FG	2,24 AB
2	VL	1,90 C
2	TG	1,85 C

Los valores de nutrientes en hojas, en este caso pueden ser indicadores de una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes, atribuyendo estos resultados al fraccionamiento de los mismos en el tratamiento FG. En estudios relacionados, Mattar y Pizarro (2007) en cultivo de palto, utilizaron la muestras foliares para descartar si la desaparición del nutriente de la solución de suelo se debió a absorción por parte de la planta o por absorción en el suelo. Por otro lado, Paramasivam et al. (2001) en suelos (Entisoles) de Florida fertilizados con 250 kg ha⁻¹ de N obtuvieron una concentración media de N en hojas de (2,5 a 2,7%), pero estas muestras fueron tomadas de ramas vegetativas sin frutos por lo que para este caso, según Banfi, (1996) los estándares son simplemente más bajos en las categorías de bajo y deficiente y más altos en las categorías de alto y exceso. Esto nos muestra que con las dosis suministradas en el ensayo, de la forma adecuada, se pueden obtener valores óptimos de concentración de N en hojas.

7.1.3 Producción de naranja Año 1 y Año 2.

Come se puede observar en la Tabla N° 6, se encuentra diferencia significativa ($p < 0,05$) cuando se analiza y compara el rendimiento medio entre años (anexo 7). Lo mismo sucede

cuando se analiza ambos años por separado y se compara los rendimientos entre tratamientos ($p < 0,05$) (Figura N° 37 y 38).

Tabla N° 6. Comparación del rendimiento medio por hectárea en los diferentes años.

Año	Producción (kg ha ⁻¹)			
	FG	VL	TG	Media
1	67.584,2	48.128,12	54.995,32	56.902.54 A
2	44.333,4	29.206,02	26.370,64	33.303.35 B

Los rendimientos obtenidos son los esperados para naranja Salustiana en zona productiva con los manejos empleados (Figura N° 37 y 38).

El lote completo, como antecedentes de fertilización, contaba con dos años de fertirrigación, con las mismas dosis empleadas en el ensayo, lo que puede explicar los altos rendimientos del primer año en todos los tratamientos, especialmente en el tratamiento TG. Esto es debido, a que, como indica Agustí (2000) en el capítulo de fertilización mineral, gran parte de los nutrientes necesarios para la floración cuaje y llenado de frutos provienen de los órganos de reservas, tales como hojas y raíces.

Si bien las temperaturas en ambos años de ensayo siguieron una tendencia similar a la media histórica, en el Año 2 ocurrió un hecho de cambios bruscos de temperatura que puede explicar los menores rendimientos de dicho año comparados con la anterior.

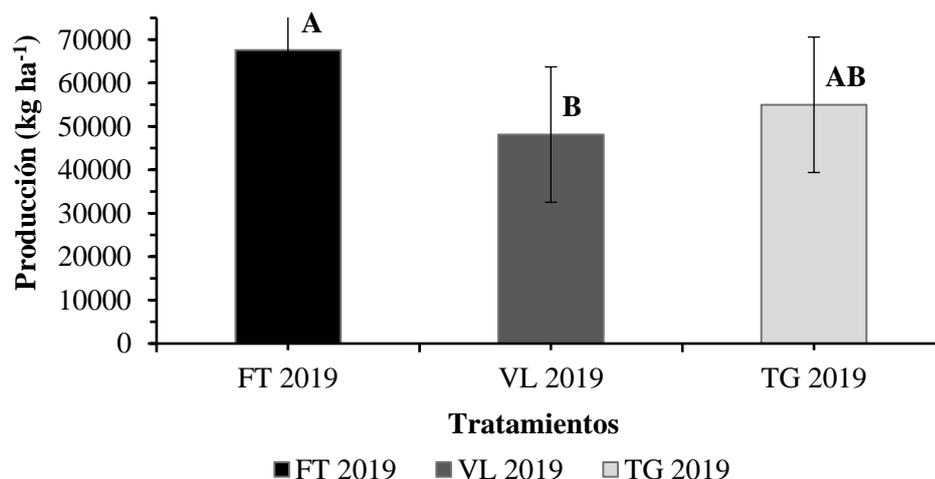


Figura N° 35. Rendimiento para Año 1 de naranja Salustiana. Kg para los distintos tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Análisis de la varianza anexo 7.

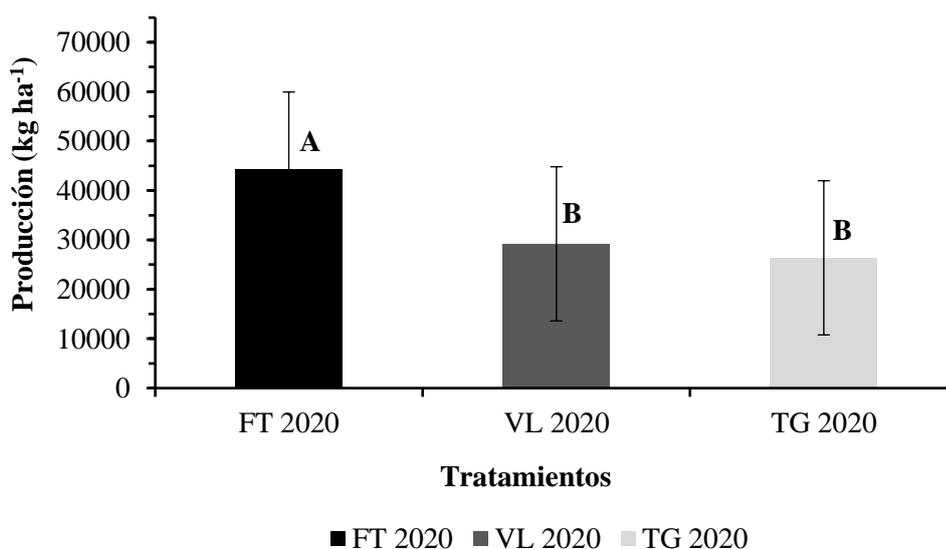


Figura N° 36. Rendimiento para Año 2 de naranja Salustiana. Kg para los distintos tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Análisis de la varianza anexo 8.

7.1.4 Calidad de fruta cítrica

En el ensayo, la calidad interna de fruta no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos entre las fechas evaluadas (Figura N° 39 y 40). Cuando nos referimos al diámetro de fruto, si se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Análisis de la varianza

diámetro de frutos en anexo 16) en el Año 2 entre los tratamientos FG y TG, con un 7,5 % de mayor tamaño (Figura N° 41 y 42), aunque autores como Nogueira y Franco, (1992) plantean en sus estudios la posibilidad de que el diámetro ecuatorial del fruto corresponda más a un rango genético que a la aplicación de fertilizaciones o por el contenido hídrico del suelo a lo largo del proceso del llenado de fruto, Dorado Guerra et al. (2015). Puesto que los factores antes mencionados eran estables para todos los tratamientos, podemos atribuir que la fertilización y el fraccionamiento de la misma contribuyen a un mejor tamaño de fruto, aunque no siempre de forma significativa.

No siempre la forma de fertilización para máxima producción es la que induce mejor calidad, pero si cuando nos referimos al nitrógeno es una de las prácticas principales, debido a que del agregado de este nutriente depende la productividad y la calidad del fruto. Anderson, (1996). Micheloud (2013) indica que otro factor importante es la alternancia de temperaturas, que afecta la calidad interna, donde ante un alto régimen térmico día/noche los frutos poseen un elevado contenido en SST y baja acidez (A) atribuida a la respiración de los ácidos orgánicos.

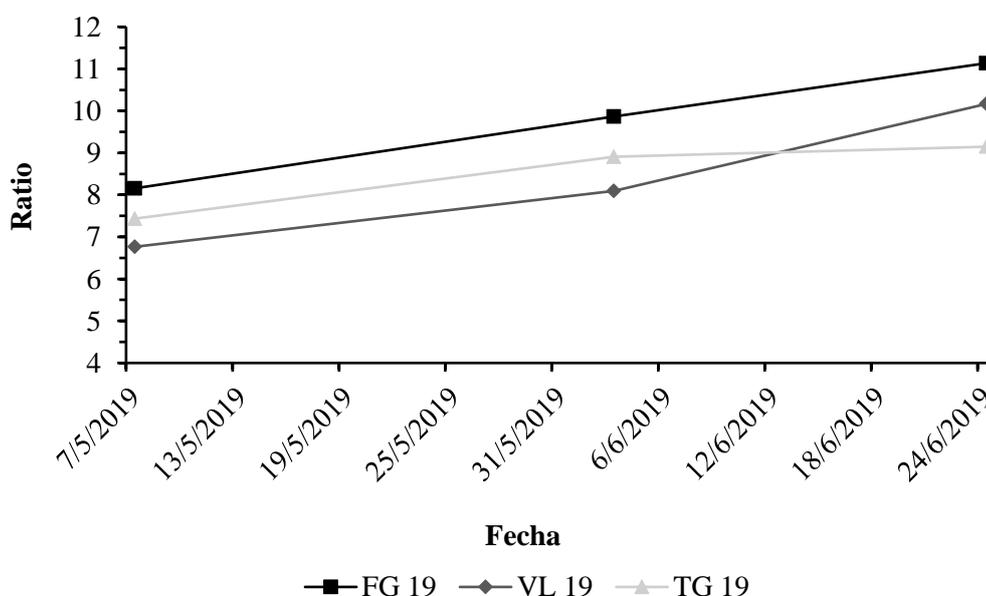


Figura N° 37. Ratio de naranja Salustiana en los tratamientos Año 1.

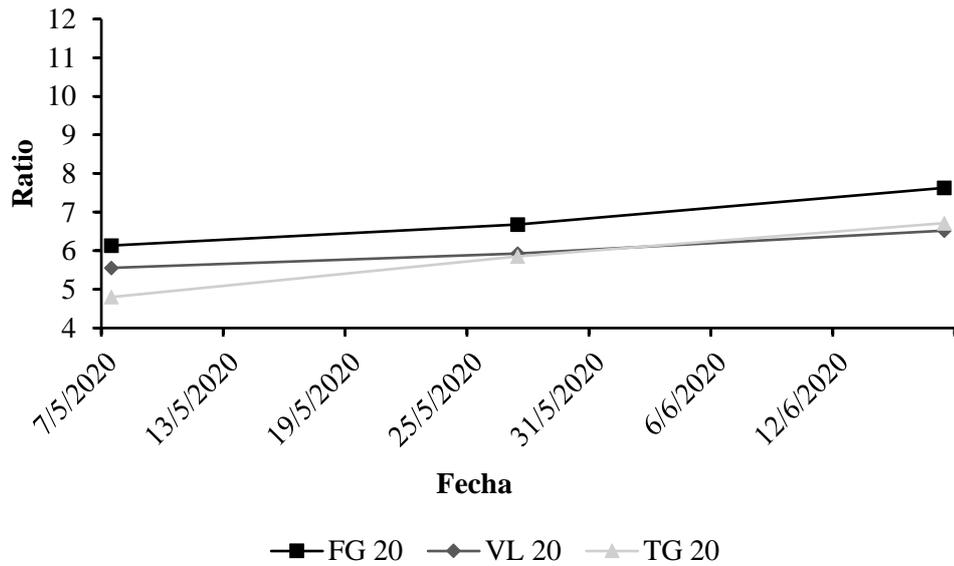


Figura N° 38. Ratio de naranja Salustiana en los tratamientos Año 2.

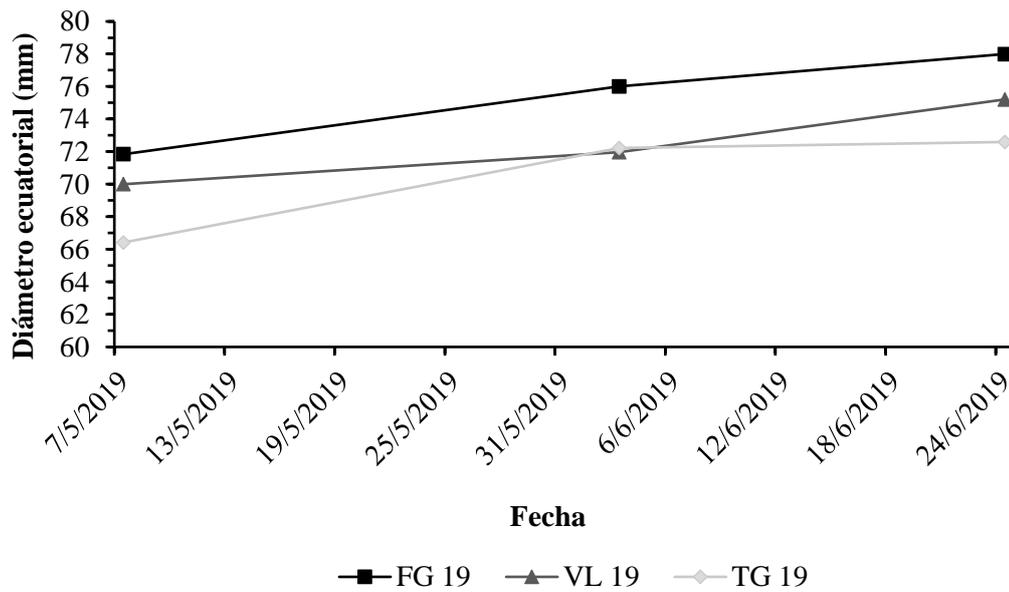


Figura N° 39. Evolución del diámetro (mm) de naranja Salustiana en los diferentes tratamientos Año 1.

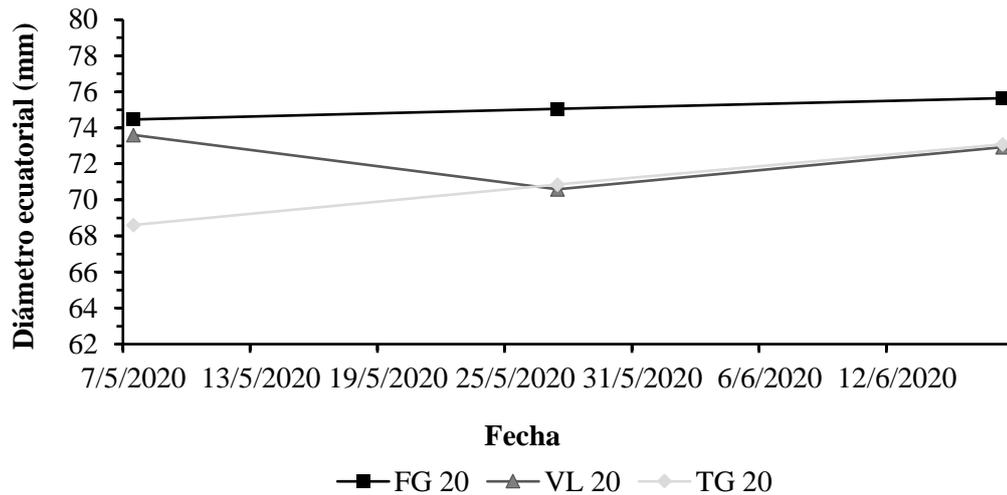


Figura N° 40. Evolución del diámetro (mm) de naranja Salustiana en los diferentes tratamientos Año 2.

8. CONCLUSIONES

Según la hipótesis planteada, donde se indica que el fraccionamiento de la fertilización y el suministro de nutrientes por fertirriego en naranja Salustiana dan como resultado una mayor producción de fruta y un mayor contenido de N en hoja y a los resultados obtenidos, se concluye que los valores de concentración de nitrógeno en hoja fueron afectados por las distintas tecnologías de fertilización, encontrándose los valores más altos de nitrógeno en hojas en el tratamiento de fraccionamiento de fertilización, siendo significativamente diferentes que el resto. El rendimiento marcó diferencias significativas a favor de la estrategia de fraccionamiento de la fertilización. A su vez, en el mismo sentido se vieron afectados el calibre y ratio de los frutos, obteniendo los valores más altos cuando se realiza fraccionamiento de los fertilizantes. No se encontraron diferencias en las fechas de inicio de brotación / floración y plena floración en los diferentes tratamientos.

9. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en este ensayo son un acercamiento de las primeras experiencias de lixiviación de N-NO_3^- en un cultivo de cítricos sobre suelos arenosos en la región citrícola del estudio del Río Uruguay.

El ensayo permitió verificar el efecto de la técnica de aplicación de fertilizantes nitrogenados en la lixiviación de N-NO_3^- siendo favorable el empleo de la fertirrigación con un mayor fraccionamiento en la aplicación de nitrógeno. También se verificó el efecto de mayor consumo de nitrógeno por parte del cultivo, que se manifiesta al fraccionar la dosis de fertilizantes a agregar con el fertirriego, lo cual se tradujo en un aumento del rendimiento en FG respecto de VL y TG. En el cultivo, esto se vio reflejado en la mayor concentración de nitrógeno en hojas en FG. Lo que traería aparejado una mayor extracción de nitrógeno por el cultivo limitando las pérdidas por lixiviación.

Por otra parte, en ambos años del experimento se encontró la situación más desfavorable en el tratamiento VL cuando se analizó la concentración de N-NO_3^- en la solución del suelo. Debe tenerse en cuenta que en los tratamientos fertilizados en ambos casos, puede superarse la concentración crítica de nitrógeno en agua para consumo humano (10 mg L^{-1}) con lo cual los sistemas de aplicación y las cantidades de nitrógeno incorporados en este tipo suelo deben ser manejados de forma correcta.

Debido a la gran movilidad de nitratos en el perfil, a la elevada conductividad hidráulica de estos suelos arenosos, la fertirrigación se mostró como técnica promisoría para prevenir el potencial transporte de nitratos en la solución de suelo, junto a otros nutrientes en el agua de drenaje. En este estudio, donde hubo dos años contrastantes en cuanto al régimen de precipitaciones, factor incidente en la lixiviación, es fundamental el manejo de los fertilizantes nitrogenados de forma fraccionada, fundamentalmente en los meses de mayores precipitaciones.

El manejo de la fertilización, sería un complemento importante para asegurar un suministro adecuado de nitrógeno a largo plazo, como también regular las formas de nitrógeno soluble para asegurar que las necesidades de las plantas estén cubiertas, minimizando de esta forma el daño ambiental por pérdidas de N-NO_3^- del sistema suelo-planta.

El análisis de la solución del suelo a través de extractores de solución es una herramienta muy valiosa, de bajo costo, de utilidad para monitorear y evaluar la disponibilidad de nutrientes en sistemas de fertirrigación en citricultura.

Al ser los primeros resultados obtenidos mediante este experimento, sería importante la continuidad del mismo incorporando nuevas formas de estudio de pérdidas de nitrógeno del sistema.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agustí, M. 2000. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa. España : p.416.

Agustí, M., 2003. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa. España : p. 422.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300 : p. 298

Alva, A. K.; Paramasivam, S 1998. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in Sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: p. 1335–1342.

Alva, A. K., Paramasivam, S., Fares, A., Obreza, T. A., & Schumann, A. W. 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees. Scientia Horticulturae, 109 (3) : p.223-233.

Anderson, C. M. Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay. Editores: Fabiani, A; Mika, R.H; Larocca, L; Anderson, C.M. (1996). Diversificación productiva Manual Serie “A” N° 2. INTA Concordia, Entre Ríos, Argentina.

Antúnez, A., Mora, D., & Felmer, S. 2010. Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias-CL).

Araujo, A.R.; Nunes C., J.L.; Guimaraes G., L.R.; Curi, N.; Marques, J.J. 2004. Movimentacao de nitrato e amonio em columnas de solo. *Cienc. Agrotec.* 28 (3): p. 537-541.

Arias, S.E; Sadeghian, K. S; Mejía, M. B.; Morales, L.C.S. 2009. Lixiviación de nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafé* 60 (3): p. 239-252.

Banfi, G. 1996. Suelos, fertilización y riego. En: Manual para productores de naranja y mandarina de la región del río Uruguay. p. 93-103. Editores: Fabiani, A; Mika, R.H; Larocca, L; Anderson, C.M. (1996). Diversificación productiva Manual Serie "A" N° 2. INTA Concordia, Entre Ríos, Argentina: p. 238.

Barros, A. C., Folegatti, M. V., Souza, C. F., & Santoro, B. L. 2010. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. *Irriga*, 15 (4): p. 361.

Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Editor), *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2. ed. America Society of Agronomy, Madison: p. 363-375.

Boman, B. J. 1994. Evapotranspiration by young Florida flatwoods citrus trees. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 120(1): p. 80-88.

Burt, C. M. 1995. Fertigation Techniques for Different Irrigation Methods. En *Proceedings of the 1995 Irrigation Association Annual Technical Conference: Phoenix, AZ*.

Cantarella, H., Mattos, D., Quaggio, J. A., & Rigolin, A. T. 2003. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67(3): p. 215-223.

Castel, J.R., Lido´n, A.L., Ginestar, C., Ramos, C., 1995. Yield, growth and nitrate leaching in drip-irrigated citrus trees under different fertilization treatments. In: *Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress*. ASAE: p. 961–968.

Castel-Sanchez, J.R., 2005. Fertirrigación de cítricos. En: Cadahia-Lopez, C. *Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3 a ed. Madrid. Mundi Prensa: p. 645-660.

Coelho, E. F., Coelho Filho, M. A., Magalhaes, A. de J., Oliveira, A. S. 2011. Irrigação e fertirrigação na cultura de citros. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro técnico-científico.

Coelho, E. F., Costa, F. D. S., Silva, A. C. P., & Carvalho, G. C. 2014. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. *Rev Bras Eng Agric Amb*, 18: p. 263-9.

Coelho, E. F.; OR, D; Sousa, V. F 1999. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF v. 34, n.4: p. 651-657.

Craviotti, C. 2010. La producción familiar en la globalización agroalimentaria: La diferenciación social en la citricultura del noreste argentino. *European Review of Latin American and Caribbean Studies*, (89): p. 65–85.

Da Silva Alves, M., Ferreira Coelho, E., da Silva Paz, V. P., & de Andrade Neto, T. M. 2010. Crescimento e produtividade da bananeira cv. Grande Naine sob diferentes combinações de nitrato de cálcio e ureia. *Revista Ceres*, 57(1).

Daker, A 1984. Irrigação e drenagem. A água na agricultura. 2.ed. Riode Janeiro: Freitas Bastos: p. 543.

Dasberg, S.; Bar-Akiva, A.; Spazisk, S.; Cohen, A 1988. Fertigation versus broadcasting in an orange grove. *Fertilizer Research*, The Hague, v. 15: p. 147-154.

De Queiroz, S. O. P., Testezlaf, R., & Matsura, E. E. 2005. Avaliação de equipamentos para determinação da condutividade eléctrica do solo. *Irriga*, 10(3).

Dias, N. D. S., Duarte, S. N., Gheyi, H. R., de Medeiros, J. F., & Soares, T. M. 2005. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando extratores de solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4): p. 496-504

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW 2016
InfoStat. Univ.Nac. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Dirksen, C., Oster, J. D., & Raats, P. A. C. 1979. Water and salt transport, water uptake, and leaf water potentials during regular and suspended high frequency irrigation of citrus. *Agricultural Water Management*, 2(3): p. 241-256.

Donagemma, G.K., Ruiz, H.A., Alvarez V., V.H., Ferreira, P.A., Cantarutti, R.B., Silva, A.T. da, Figueiredo, G.C., 2008. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de latossolos fertirrigadas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: p. 2493-2504.

Dorado Guerra, D., Grajales, L. C., & Ríos Rojas, L. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1): p. 87.

Duenhas, L. H., Villas Boas, R. L., Souza, C. M. P. D., Ragozo, C. R. A., & Büll, L. T. 2002. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. *Revista Brasileira de Fruticultura*: p. 214-218.

Duggan, M. 2001. Fertilizar eficientemente para reducir el riesgo ambiental: nitrógeno.

Federcitrus. (Federación Argentina de Citrus) 2018. La actividad Citrícola Argentina. Federcitrus : p. 15

Fecier, Fca Uner. 2016. Censo Citrícola de Entre Ríos 2015/2016. Acceso 12 diciembre 2017. <http://www.noticias.uner.edu.ar/public/attached/1071714702261.pdf>.

Filgueira, F. 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.

Gardner, W.H., 1986. Water Content. In: Klute, A. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2. ed. America Society of Agronomy, Madison: p. 493-541.

Gariglio, N. F., Bouzo, C. A., & Travadelo, M. R. 2000. Cultivos frutales y ornamentales para zonas templado-cálidas: experiencias en la zona central de Santa Fe. Ediciones UNL.

Garrán, S. M., Ragone, M., y Vázquez, D. 1993. Observaciones fenológicas en plantas cítricas. In Resúmenes XVI Congreso Sociedad Argentina de Horticultura, Corrientes, Argentina: p. 171.

Garrán, S.; Anderson, C.; Rivadeneira, M.F.; Garin, R.O.; Mika, R., 2005. Fenología en plantas de naranja valencia late. Resumen V Congreso Argentino de Citricultura, Concordia, Entre Ríos.

Gee, G.W. and Or, D., 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J.H. and Topp, C. (Editores). Methods of soil analysis. Part 4: Physical methods American Society of Agronomy, Madison: p. 255-293.

Ghiberto, P.J., 2009. Lixiviação de nutrientes em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Tesis Doctorado. ESALQ/USP, Piracicaba.

Ghiberto, P. J., Libardi, P. L., Brito, A. S., & Trivelin, P. C. O. 2009. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. *Agricultural Water Management*, 96(10): p. 1443-1448.

Goñi, C.; Otero, A.; 2003. Algunas consideraciones en torno a la floración y las brotaciones en condiciones de riego y secano. Salto (Uruguay): INIA: p. 1-10.

Intrigliolo, F.; Coniglione, L.; Germana, C. 1994. Effect of fertigation on some physiological parameters in orange trees. In: International Citrus Congress, 7., 1992. Proceedings. Acireale: International Society of Citriculture., v. 2: p. 584-589.

Junior, D. M., & Quaggio, J. A. 2009. Citros: Manejo da fertilidade do solo para alta produtividade.

Lidon, A., 1994. Lixiviación de nitrato en huertos de cítricos bajo diferentes tratamientos de abonado nitrogenado. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Legaz, F. 1978. Influencia de la fertilización en la producción y calidad del fruto en agrios. In Primeras Jornadas Nacionales de Comercialización Citrícola. Comité de Gestión para la Exportación de Cítricos: p. 57-58.

Legaz-Paredes, F.; Primo-Millo, E.; Primo-Yúfera, E.; Gil, C., 1981. Dynamics of ¹⁵N-labelled nitrogen nutrition in Valencia orange trees. En: Matsumoto K, Oogaki C and Kozaki I (eds). Proceedings of the International Society of Citriculture 2: p. 575-582.

Maia de Andrade, E., Nascimento de Aquino, D., Araújo Crisóstomo, L. de, Oliveira Rodrigues, J. de, & Bezerra Lopes, F. 2009. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. *Ciência Rural*, 39(1).

Mantovani, A. 2005. Lixiviação de nitrogênio num Nitossolo Vermelho em função do pH do solo e da adição de fertilizantes nitrogenados com superfosfato triplo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina: p. 59.

Martínez-Alcántara, B., 2010. Estudio de la absorción y translocación del nitrógeno en cítricos en función del aporte estacional del abono nitrogenado, mediante la técnica de dilución isotópica. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia. España: p. 276.

Mattar, M., & Pizarro, C 2007. Determinación de la curva de absorción de nutrientes, mediante sondas extractómetras y análisis foliares en palto (*Persea americana* Mill) CV HASS.

Mattos, D., Alva, A. K., Paramasivam, S., & Graetz, D. A. 2003. Nitrogen Volatilization And Mineralization In A Sandy Entisol Of Florida Under Citrus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(13-14) : p. 1803-1824.

Mattos Junior, D., Quaggio, JA, Cantarella, H. y Boaretto, RM 2009. Cítricos: manejo de la fertilidad del suelo para una alta productividad. *Informações Agronômicas* , (128): p. 5-12.

Melgar, R.; Zurita, M.D., 2008. Fertilización de citrus. Cap. 6. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas*. 2ª Edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires: p. 511- 526

Micheloud, Norma Guadalupe, 2013. Comportamiento Fenológico - Reproductivo de Variedades de Cítricos en la zona Centro de la Provincia de Santa Fe. *Universidad Nacional del Litoral*. Páginas: p. 141.

Moraes, J. F. V., & Dynia, J. F. 1990. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25(10): p. 1523-1528.

Morgan, K.T.; Obreza, T.A., 2011. Irrigation management to improved nutrient uptake. En: Obreza, T.A.; Morgan, K.T. Editores: *Nutrition of Florida citrus trees*. 2 nd Edición. UF-IFAS SL 253. Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service.: p. 96.

Nkrumah, M.; Griffith, S.M.; Ahmad, N. 1989. Lysimeter and field studies on ^{15}N in a tropical soil. II. Transformation of $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ - ^{15}N in a tropical loam in lysimeter and field plots. *Plant and Soil* 114: p. 13-18.

Oliveira, F. D. A. D., Medeiros, J. F. D., Duarte, S. N., Silva Junior, M. J. D., & Campelo, C. M. 2011. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. *Engenharia Agrícola*, 31(3): p. 520-528.

Pagán Rubio, E. 2012. Uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la optimización del riego en cultivos leñosos.

Papadopoulos, I 1999. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: Folegatti, M.V. (ed.) *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária,; p.11-84.

Papadopoulos, I 2001. Processo de transição da fertilização convencional para fertirrigação. In: Folegatti, M.V.; Casarini, E.; Blanco, F.F.; Brasil, C.R.P.; Resende, R.S.(Coord.) *Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária. : p.9-69.

Paparotti, O., & Gvozdenovich, J. 2007. Caracterización de zonas y subzonas RIAP Entre Ríos. *RIAN-RIAP Centro Regional Entre Ríos, INTA*. : p. 26.

Paramasivam, S., Alva, A.K., Fares, A., 2000. Transformation and Transport of Nitrogen Forms in a Sandy Entisol Following a Heavy Loading of Ammonium Nitrate Solution: Field Measurements and Model Simulations. *Journal of Soil Contamination* 9: p. 65–86.

Paramasivam, S., Alva, A. K., Fares, A., & Sajwan, K. S. 2001. Estimation of nitrate leaching in an Entisol under optimum citrus production. *Soil Science Society of America Journal*, 65(3) : p. 914-921.

Pires, R.C.M.; Luchiari, D.J.F.; Arruda, F.B.; Mossak, I. Irrigação. In: Mattos Junior, D. de; De Negri, J.D.; Pio, R.M.; Pompeu Junior, J. 2005. (Ed.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico: Fundag: p.369-408.

Plan Mapa de Suelos de La Provincia de Entre Ríos. 1993. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Concordia, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo Complementario del Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, EEA Paraná, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 10, (ISSN-0325-9099): p. 197 p.

Qin, W., Assinck, F. B. T., Heinen, M., & Oenema, O. 2016. Water and nitrogen use efficiencies in citrus production: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222: p.103-111.

Quaggio, J. A., Mattos Junior, D. D., & Cantarella, H. 2005. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. Instituto Agronômico e Fundag: p.483-507.

Quaggio, J. A., Silva, G. O., Souza, T. R., Junior, D. M., & Krontal, Y. 2006. Dinâmica de íons no solo e ganhos de eficiência fertilizante devido a irrigação e fertirrigação na citricultura. Reunión brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas-fertbio: p.27.

Quaggio, J. A., Souza, T. R., Zambrosi, F. C. B., Mattos, D., Boaretto, R. M., & Silva, G. 2019. Citrus fruit yield response to nitrogen and potassium fertilization depends on nutrient-water management system. *Scientia Horticulturae*, 249: p.329-333.

Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., Primo-Millo, E., Legaz, F. 2007. Fertilización de los cítricos en riego a goteo (I): N, P, K. *Levante Agrícola*, 389: p.380-386.

Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., Chi-Bacab, U., & Legaz, F. 2009. Mejora de la fertilización N mediante el uso del inhibidor de la nitrificación DMPP en árboles de cítricos regados por goteo. *Span J Agric Res*: p.10.

Quinones, A., Martínez-Alcántara, B., Primo-Millo, E., & Legaz, F. 2010. Abonado de los cítricos. *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*: p.193-204.

Raij, B 1991. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Agronômica Ceres: Potafos: p. 343.

Ramos, C., Agut, A., & Lidon, A. L. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, 118(2): p. 215-223.

Ramos, S., De Ruyver, R., Gattinoni, N., Garin, R., & Garran, S. 2018. Estación agrometeorológica del INTA Concordia. INTA Ediciones. ISSN, 314.

Rivadeneira MF. 2012. Grados días acumulados en naranjas y mandarinas sobre pie trifolío en la zona de concordia (Entre Ríos). *Horticultura Argentina* 31(74): p.24- 27.

Sánchez de Oleo, C. M. S. 2016. Estimación de parámetros en modelos de transporte de agua y nitrógeno en el suelo. *Universitat Politècnica de València*.

Santana, G. D. S., Coelho, E. F., Silva, T. M., & Ramos, M. M. 2007. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(2): p. 142-157.

Serna, M. D., Borrás, R., Legaz, F., & Primo-Millo, E. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. *Plant and Soil*, 147(1): p.13-23.

Serrano, L; Carbonell, X; Marfa, O. 1993. Nitrate leaching and Strawberry productions and affected by drip irrigation. *Environmental Pollution*, v.2: p.311-316.

Silva, Ê. F. D. F. 2002. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Souza, T. R. D., Villas Boas, R. L., Quaggio, J. A., Salomão, L. C., & Foratto, L. C. 2012. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*: p.846-854

Souza, E. D. A., Coelho, E. F., Paz, V. P. D. S., & Coelho Filho, M. A. 2005. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com fósforo por gotejamento superficial e subsuperficial. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, 27(3): p.495-499.

Tasi, H. A. A. 2009. Aplicación de las Cartas de Suelos de Entre Ríos, Argentina, para evaluar índices de productividad específicos para los principales cultivos agrícolas: p.622.

Teixeira, L. A. J., Natale, W., Bettiol Neto, J. E., & Martins, A. L. M. 2007. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertirrigação e adubação convencional-atributos químicos do solo. *Revista Brasileira de Fruticultura*: p.143-152.

Van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 44, n. 5: p.892-898.

Willis, L. E.; Davies, F. S.; Graetz, D. A 1991. Fertigation and growth of young Hamlin orange trees in Florida. HortScience, Alexandria, v. 26: p.106-109.

11. ANEXOS

Anexo N° 1. Precipitación evaporación y riegos de Año 1 y 2.

Fecha	PP acumulada mm	Evaporación acumulada mm	mm/riego
10/9/2018	0	0	2.7
14/9/2018	8	9.7	1.8
17/9/2018	0	5.7	2.7
20/9/2018	9.5	10.9	2.25
27/9/2018	2	18.5	1.8
3/10/2018	92.5	16.8	3.6
10/10/2018	23.3	30	2.25
18/10/2018	42	28	2.7
24/10/2018	0	29.7	4.05
31/10/2018	0	27.2	1.8
7/11/2018	0	36.4	4.5
15/11/2018	105	32.9	2.7
21/11/2018	26	27.2	4.95
28/11/2018	34	27.5	4.95
11/12/2018	29	61.2	1.8
21/12/2018	163	28.5	2.7
26/12/2018	0	28.8	3.15
3/1/2019	66.5	32.6	1.8
8/1/2019	70	22.6	1.8
16/1/2019	192	17.3	0.9
24/1/2019	64	29	0.9
30/1/2019	57.5	22.5	0.9
6/2/2019	55	23.7	2.7
18/2/2019	13.5	52.2	3.15
28/2/2019	48	36.8	2.7
6/3/2019	0	20.3	1.8
15/3/2019	52	28.6	2.7
21/3/2019	15.5	20.7	1.8
TOTAL	1168.3	725.3	71.55

Fecha	PP acumulada	Evaporación acumulada	mm/riego
-------	--------------	-----------------------	----------

	mm	mm	
15/9/2019	0	0	2.7
16/9/2019	0	6.2	3.6
24/9/2019	0	26	3.6
3/10/2019	50	29	1.8
8/10/2019	6	9.7	1.8
18/10/2019	63.5	27	2.7
23/10/2019	12	12.2	1.8
31/10/2019	33.5	29.4	1.8
8/11/2019	93.5	24.2	1.8
12/11/2019	0	19.2	2.7
22/11/2019	18	43.4	3.6
28/11/2019	26	28	2.7
5/12/2019	18	24.9	3.6
10/12/2019	4	27.1	3.6
18/12/2019	148.5	36.3	2.7
26/12/2019	35	28	1.8
6/1/2020	30	42.4	1.8
15/1/2020	76	29.8	2.7
21/1/2020	55	16.2	3.6
30/1/2020	0	37	3.6
6/2/2020	0	33.8	3.6
14/2/2020	22.5	36.1	2.7
19/2/2020	97	15.8	3.6
24/2/2020	0	23.7	3.6
26/2/2020	0	9.5	3.6
18/3/2020	76	87.2	10.8
25/3/2020	0	23.9	2.7
TOTAL	864.5	726	84.6

Anexo N° 2. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹).

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-Lix (kg ha-1)	18	0,78	0,69	61,5	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1513,14	5	302,63	8,6	0,0012
TRATAMIENTO	1513,14	5	302,63	8,6	0,0012

Error	422,45	12	35,2		
Total	1935,59	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=16,27229					
Error: 35,2038 gl: 12					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
TG 2020	1,25	3	3,43	A	
TG 2019	2,41	3	3,43	A	
FG 2020	3,23	3	3,43	A	
VL 2020	11,33	3	3,43	A	
FG 2019	11,76	3	3,43	A	B
VL 2019	27,9	3	3,43		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo N° 3. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha^{-1}) entre Año 1 y Año 2.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1513,14	5	302,63	8,6	0,0012
AÑO	344,54	1	344,54	9,79	0,0087
TRATAMIENTO	1168,6	4	292,15	8,3	0,0019
Error	422,45	12	35,2		
Total	1935,59	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,09408					
Error: 35,2038 gl: 12					
AÑO	Medias	n	E.E.		
2020	5,27	9	1,98	A	
2019	14,02	9	1,98		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo N° 4. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha^{-1}) entre tratamientos de Año 1.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-Lix (kg ha^{-1})	9	0,75	0,67	52,52	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	997,47	2	498,73	9,2	0,0149

TRATAMIENTO	997,47	2	498,73	9,2	0,0149
Error	325,35	6	54,23		
Total	1322,82	8			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,44801					
Error: 54,2253 gl: 6					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
TG 2019	2,41	3	4,25	A	
FG 2019	11,76	3	4,25	A	B
VL 2019	27,9	3	4,25		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo N° 5. Análisis de la varianza de N-Lix (kg ha⁻¹) entre tratamientos de Año 2.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-Lix (kg ha-1)	9	0,64	0,52	76,31	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	171,13	2	85,57	5,29	0,0474
TRATAMIENTO	171,13	2	85,57	5,29	0,0474
Error	97,09	6	16,18		
Total	268,23	8			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,07785					
Error: 16,1822 gl: 6					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
TG 2020	1,25	3	2,32	A	
FG 2020	3,23	3	2,32	A	B
VL 2020	11,33	3	2,32		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo N° 6. Concentración de nitrógeno en hojas en los tratamientos y repeticiones.

AÑO	TRATAMIENTOS	% N
2019	FG 1	2.40

2019	VL 1	2.09
2019	TG 1	2.01
2019	FG 2	2.19
2019	VL 2	1.91
2019	TG 2	2.00
2019	FG 3	2.23
2019	VL 3	1.76
2019	TG 3	1.72
2020	FG 1	2.27
2020	VL 1	1.96
2020	TG 1	1.91
2020	FG 2	2.18
2020	VL 2	1.95
2020	TG 2	1.83
2020	FG 3	2.26
2020	VL 3	1.79
2020	TG 3	1.80

Anexo N° 7. Tabla de rangos de nutrientes en hojas de cítricos. Manual de productores de naranjas y mandarina de la región del Río Uruguay.

elementos	rangos				
	deficiente	bajo	óptimo	alto	exceso
	<i>en porcentajes</i>				
nitrógeno	< 1.90	1.90 - 2.10	2.20 - 2.70	2.80 - 3.50	>3.60
fósforo	< 0.07	0.07 - 0.11	0.12 - 0.18	0.19 - 0.23	>0.24
potasio	< 0.30	0.40 - 0.90	1.00 - 1.70	1.80 - 1.90	>2.00
calcio	< 2.00	2.00 - 2.90	3.00 - 6.00	6.00 - 6.90	>7.00
magnesio	< 0.20	0.20 - 0.30	0.30 - 0.60	0.70 - 1.00	>1.00
	<i>en partes por millón</i>				
zinc	<15	15 - 24	25 - 100	110 - 200	>200
manganeso	<20	21 - 24	25 - 100	100 - 200	>300
cobre	<4	4 - 5	6 - 14	15 - 20	>20
hierro	<40	40 - 60	60 - 150	150	>150
boro	<15	15 - 40	50 - 200	200 - 250	>250
molibdeno	<0.05	0.06 - 0.09	0.10 - 3.00	4.00 - 100	>100

Anexo N° 8. Analisis de la varianza % de N en hojas entre repeticiones.

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
% N HOJA	18	0,77	0,67	5,79		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo						

III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	0,53	5	0,11	7,83	0,0017	
TRATAMIENTOS	0,53	5	0,11	7,83	0,0017	
Error	0,16	12	0,01			
Total	0,7	17				
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31983						
Error: 0,0136 gl: 12						
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.			
TG 2020	1,85	3	0,07	A		
VL 2020	1,9	3	0,07	A		
TG 2019	1,91	3	0,07	A		
VL 2019	1,92	3	0,07	A	B	
FG 2020	2,24	3	0,07		B	C
FG 2019	2,27	3	0,07			C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
% N HOJA	18	0,76	0,71	5,38		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	0,53	3	0,18	15,05	0,0001	
TRATAMIENTOS	0,52	2	0,26	22,27	<0,0001	
AÑO	0,01	1	0,01	0,61	0,447	
Error	0,16	14	0,01			
Total	0,7	17				
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16386						
Error: 0,0118 gl: 14						
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.			
TG	1,88	6	0,04	A		
VL	1,91	6	0,04	A		
FG	2,26	6	0,04		B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10964						
Error: 0,0118 gl: 14						

AÑO	Medias	n	E.E.			
2020	1,99	9	0,04	A		
2019	2,03	9	0,04	A		
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)						

Anexo N° 9. Analisis de la varianza Rto/ha entre años, entre repeticiones de ambos años y repeticiones dentro del año.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RTO KG/HA	54	0,66	0,64	24,33	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11665579437	3	3888526479	33,04	<0,0001
AÑO	8177635888	1	8177635888	69,48	<0,0001
TRATAMIENTOS	3487943549	2	1743971774	14,82	<0,0001
Error	5885034189	50	117700683,8		
Total	17550613626	53			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5930,71735					
Error: 117700683,7882 gl: 50					
AÑO	Medias	n	E.E.		
2020	32290,54	27	2087,89	A	
2019	56902,55	27	2087,89		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8734,96167					
Error: 117700683,7882 gl: 50					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
VL	38667,07	18	2557,13	A	
TG	39163,76	18	2557,13	A	
FT	55958,8	18	2557,13		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RTO KG/HA	27	0,57	0,53	25,45	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2113169143	2	1056584572	15,64	<0,0001
TRATAMIENTOS	2113169143	2	1056584572	15,64	<0,0001
Error	1621290487	24	67553770,28		
Total	3734459630	26			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9675,80298					
Error: 67553770,2848 gl: 24					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
TG 2020	23332,2	9	2739,7	A	
VL 2020	29206,02	9	2739,7	A	
FT 2020	44333,4	9	2739,7		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RTO KG/HA	27	0,31	0,25	22,36	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1752532153	2	876266076,7	5,41	0,0115
TRATAMIENTOS	1752532153	2	876266076,7	5,41	0,0115
Error	3885985955	24	161916081,4		
Total	5638518108	26			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14979,84131					
Error: 161916081,4404 gl: 24					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
VL 2019	48128,12	9	4241,54	A	
TG 2019	54995,32	9	4241,54	A	B
FT 2019	67584,2	9	4241,54		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo N° 10. Tabla de Distribución porcentual de los distintos estadios fenológicos Año 1 en función de los meses de ensayo.

FG 2019	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	1	0	0	0	0	0	0
	B2	16	0	0	0	0	0	0
	B3	18	0	0	0	3	0	0
	B34	14	0	0	2	5	0	1
	B4	15	0	0	0	1	0	0
	B5	10	15	1	10	15	8	3
	B6	25	60	75	61	63	58	57
	B7	1	22	16	26	13	28	39
B8	0	4	8	2	1	6	0	
FLORAC IÓN (%)	F0	18	34	47	38	50	42	38
	F1.0	11	0	0	0	0	0	0
	F1.1	15	0	0	0	0	0	0
	F2	23	0	0	0	0	0	0
	F3	1	0	0	0	0	0	0
	F4	14	0	0	0	0	0	0
	F5	19	1	0	0	0	0	0
	F6	0	12	0	3	0	0	0
F7	0	53	53	58	50	58	63	

VL 2019	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	1	0	0	0	0	0	0
	B2	24	0	0	0	0	0	0
	B3	15	0	0	0	1	0	0
	B34	12	2	0	0	5	0	0
	B4	15	1	0	0	0	0	0
	B5	10	4	1	0	6	8	6
	B6	20	52	63	67	58	76	41
	B7	3	35	25	26	27	15	49
B8	0	5	11	8	3	2	4	
FLORAC IÓN	F0	16	32	47	41	45	40	42
	F1.0	11	0	0	0	0	0	0

(%)	F1.1	16	0	0	0	0	0	0
	F2	23	0	0	0	0	0	0
	F3	2	0	0	0	0	0	0
	F4	10	0	0	0	0	0	0
	F5	22	2	0	0	0	0	0
	F6	1	7	0	0	0	0	0
	F7	0	60	53	59	55	60	58

TG 2019	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	1	0	0	0	0	0	0
	B2	16	0	0	0	0	0	0
	B3	18	0	0	0	3	0	0
	B34	14	0	0	2	6	0	1
	B4	15	0	0	0	2	0	0
	B5	10	15	1	10	11	9	3
	B6	25	60	75	61	64	57	57
	B7	1	22	16	26	14	28	39
FLORAC IÓN (%)	B8	0	4	8	2	1	6	0
	F0	18	34	47	38	50	42	38
	F1.0	11	0	0	0	0	0	0
	F1.1	15	0	0	0	0	0	0
	F2	23	0	0	0	0	0	0
	F3	1	0	0	0	0	0	0
	F4	14	0	0	0	0	0	0
	F5	19	1	0	0	0	0	0
	F6	0	12	0	3	0	0	0
F7	0	53	53	58	50	58	63	

Anexo N° 11. Tabla de Distribución porcentual de los distintos estadios fenológicos Año 2 en función de los meses de ensayo.

FG 2020	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	12	0	0	0	0	0	0
	B2	42	0	0	0	0	0	0
	B3	15	0	2	0	0	0	0
	B34	1	0	0	0	6	0	0
	B4	3	2	3	1	1	0	0
	B5	0	31	0	12	14	5	6
	B6	25	60	68	67	64	75	64
	B7	3	5	24	19	13	19	30
B8	0	2	3	1	1	0	0	

FLORAC IÓN (%)	F0	33	33	46	44	42	41	38
	F1.0	18	0	0	0	0	0	0
	F1.1	31	0	0	0	0	0	0
	F2	16	1	0	0	0	0	0
	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F4	2	3	0	0	0	0	0
	F5	0	16	0	0	1	0	0
	F6	0	15	0	5	2	0	6
F7	0	33	54	51	55	59	56	

VL2020	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	12	0	0	0	0	0	0
	B2	45	0	0	0	0	0	0
	B3	14	0	3	0	0	0	0
	B34	1	0	0	0	7	0	0
	B4	0	2	0	0	0	0	0
	B5	0	33	0	12	14	3	2
	B6	25	59	70	68	65	76	66
	B7	3	5	25	19	13	20	33
B8	0	2	3	2	1	0	0	
FLORAC IÓN (%)	F0	33	33	46	44	42	41	36
	F1.0	18	0	0	0	0	0	0
	F1.1	31	0	0	0	0	0	0
	F2	15	1	0	0	0	0	0
	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F4	2	3	0	0	0	0	0
	F5	0	16	0	0	1	0	0
	F6	0	14	0	5	2	0	7
F7	0	33	54	51	55	59	58	

TG2020	FASE/ MES	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIEM BRE	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO
BROTAC IÓN (%)	B1	13	0	0	0	0	0	0
	B2	48	0	0	0	0	0	0
	B3	14	0	4	0	0	0	0
	B34	1	0	0	0	6	1	0
	B4	0	1	0	0	0	0	0
	B5	0	29	0	11	13	1	1
	B6	21	60	70	65	65	76	76
	B7	3	10	23	24	15	22	23
B8	0	0	4	0	0	0	0	
FLORAC IÓN (%)	F0	35	33	44	43	41	46	35
	F1.0	20	0	0	0	0	0	0
	F1.1	29	0	0	0	0	0	0

F2	14	1	0	0	0	0	0
F3	0	0	0	0	0	0	0
F4	2	4	0	0	0	0	0
F5	0	13	0	0	3	0	0
F6	0	15	0	6	1	0	7
F7	0	35	56	52	55	54	58

Anexo N° 12. Analisis de la varianza ratio, calibre y % de jugo entre años.

Análisis de la varianza					
RATIO					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RATIO	18	0,6	0,58	15,1	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,6	1	31,6	24,45	0,0001
AÑO	31,6	1	31,6	24,45	0,0001
Error	20,68	16	1,29		
Total	52,29	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,13623					
Error: 1,2927 gl: 16					
AÑO	Medias	n	E.E.		
2020	6,2	9	0,38	A	
2019	8,85	9	0,38		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
CALIBRE					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
CALIBRE	18	1,30E-04	0	4,02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	2,00E-03	0,9645

AÑO	0,02	1	0,02	2,00E-03	0,9645
Error	136,45	16	8,53		
Total	136,47	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,91836					
Error: 8,5282 gl: 16					
AÑO	Medias	n	E.E.		
2019	72,7	9	0,97	A	
2020	72,76	9	0,97	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
% JUGO					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
% JUGO	18	0,38	0,34	5,02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,66	1	42,66	9,85	0,0063
AÑO	42,66	1	42,66	9,85	0,0063
Error	69,29	16	4,33		
Total	111,95	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,07968					
Error: 4,3308 gl: 16					
AÑO	Medias	n	E.E.		
2020	39,94	9	0,69	A	
2019	43,02	9	0,69		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Anexo N° 13. Analisis de la varianza ratio, calibre y % de jugo entre repeticiones de ambos años.

Análisis de la varianza					

RATIO					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RATIO	18	0,09	0	23,6	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,93	2	2,47	0,78	0,4757
TRATAMIENTOS	4,93	2	2,47	0,78	0,4757
Error	47,35	15	3,16		
Total	52,29	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,66454					
Error: 3,1569 gl: 15					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
TG	7,14	6	0,73	A	
VL	7,17	6	0,73	A	
FT	8,27	6	0,73	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
CALIBRE					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
CALIBRE	18	0,46	0,39	3,05	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62,81	2	31,41	6,4	0,0098
TRATAMIENTOS	62,81	2	31,41	6,4	0,0098
Error	73,66	15	4,91		
Total	136,47	17			
Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,32315					
Error: 4,9104 gl: 15					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
TG	70,63	6	0,9	A	
VL	72,38	6	0,9	A	B
FT	75,17	6	0,9		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

% JUGO					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
% JUGO	18	0,11	0	6,22	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,97	2	5,99	0,9	0,4282
TRATAMIENTOS	11,97	2	5,99	0,9	0,4282
Error	99,98	15	6,67		
Total	111,95	17			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,87170					
Error: 6,6654 gl: 15					
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
VL	40,84	6	1,05	A	
TG	40,97	6	1,05	A	
FT	42,63	6	1,05	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					