

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RIEGO Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL MANZANO
(*Malus domestica* Borkh) cv. 'GALA'**

por

Pablo Fabián CAMPI LUGANO

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias del Suelo

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2013**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la MSc. Lucía Puppo, el PhD. Roberto Zoppolo, y la Dra. Giuliana Gambetta el 8 de noviembre 2013.

Autor: Pablo Fabián Campi Lugano.

Director Dr. Claudio García, Co-director Dr. Mario García.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a los Sres. Ismael Solari y Luis Solari por otorgar los sitios de evaluación de los ensayos de este trabajo, a mis tutores Claudio García y Mario García por sus aportes. A todo el personal que trabajaron en los laboratorios de análisis de Suelo, de análisis de nutrientes en hoja y Pos-cosecha en la EE (Estación Experimental) del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) Las Brujas. También un saludo muy especial a mis amigos Andrés Beretta, Helenesio Borges Cabral, Andrés Coniberti, Pablo Morales y a mi familia que me ayudaron incondicionalmente y me apoyaron mucho para realizar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÀGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
1.1. EL RIEGO EN EL CULTIVO DEL MANZANO.....	2
1.1.1. <u>El agua en el suelo</u>	3
1.1.2. <u>Demanda hídrica</u>	4
1.1.3. <u>Respuesta vegetativa al agua aplicada: crecimiento del tronco y poda de año</u>	5
1.1.4 <u>Respuesta productiva del agua aplicada: calidad y rendimiento de frutas</u>	6
1.1.5 <u>El riego en la nutrición mineral del manzano</u>	7
1.2. EL NITRÓGENO EN EL CULTIVO DEL MANZANO.....	8
1.2.1. <u>Respuesta vegetativa-productiva a la fertilización con N</u>	9
1.3. CONTENIDOS Y RELACIONES DE NUTRIENTES EN HOJA Y FRUTOS.....	10
1.3.1. <u>Contenidos foliares</u>	10
1.3.2. <u>El N, K y Ca en el fruto</u>	11
1.3.3. <u>Cambios en los contenidos de nutriente en hoja y fruto debido al N fertilizado</u>	12
2. <u>EL RIEGO Y EL NITRÓGENO AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL MANZANO CV GALA</u>	13
RESUMEN.....	13

SUMMARY.....	14
2.1. INTRODUCCIÓN.....	15
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.2.1. <u>Ubicación y diseño experimental</u>	17
2.2.2. <u>Suelo, clima, y aplicación de riego y N</u>	17
2.2.3. <u>Variables evaluadas y análisis estadístico</u>	20
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
2.3.1. <u>Propiedades de los suelos</u>	21
2.3.2. <u>Evapotranspiración del cultivo, agua aplicada, humedad en el suelo y potenciales xilemáticos</u>	21
2.3.3. <u>Rendimiento, diámetro ecuatorial, peso final y precocidad de frutos</u>	26
2.3.4. <u>Evolución del diámetro ecuatorial de frutas</u>	31
2.3.5. <u>Sección transversal del tronco y peso de poda invernal</u>	34
2.3.6. <u>Calidad de frutas</u>	35
2.4. CONCLUSIONES.....	37
2.5. BIBLIOGRAFÍA.....	38
3. <u>CAMBIOS EN LOS CONTENIDOS DE NUTRIENTES EN PLANTAS DE MANZANO CV GALA POR LA APLICACIÓN DE AGUA Y NITRÓGENO</u>	42
RESUMEN.....	42
SUMMARY.....	43
3.1. INTRODUCCIÓN.....	44
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.2.1. <u>Ubicación y diseño experimental</u>	46
3.2.2. <u>Suelo, clima y aplicación de agua y N</u>	47
3.2.3. <u>Variables evaluadas y análisis estadístico</u>	48
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.3.1. <u>Evapotranspiración del cultivo, agua aplicada y humedad en el suelo</u> ...	49

3.3.2. <u>Contenidos de nutrientes en planta</u>	52
3.3.2.1. Evolución en el tiempo, y efectos del riego y el N aplicado en los contenidos de nutrientes foliares.....	52
3.3.2.2. Contenidos foliares en pre-cosecha, y comparación con estándares internacionales.....	55
3.3.2.3 Contenido de nutrientes en fruto.....	57
3.4. CONCLUSIONES.....	60
3.5. BIBLIOGRAFÍA.....	61
4. <u>CONCLUSIONES GLOBALES</u>	64
5. <u>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u>	65

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la respuesta vegetativa-productiva y los contenidos de nutrientes en hoja y fruto generados por el riego y la fertilización con N en planta del manzano *cvar.* ‘Gala’. Se realizó en la temporada 2008-09 en dos montes Sitio 1 (S1) y 2 (S2) de siete años de edad, en alta densidad de plantación, sobre el portainjerto M9 y en suelos franco-arcillo-limoso Argiudol Tipic. El diseño experimental consistió en parcelas divididas, con cuatro tratamiento de riego (parcela principal): testigo sin riego, 50%, 75% y 100% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc); y cuatro de fertilización (sub parcelas): 0, 110, 220 y 110 Kg N ha⁻¹ + 120 Kg K ha⁻¹. Se evaluó: contenido humedad en suelo y potencial hídrico en hoja; contenido de N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, y Cu en hoja y fruta; sección transversal de tronco, peso y largo de brotes del año en poda invernal; número, peso, diámetro, color, presión de pulpa, acidez titulable y sólidos solubles en frutos. Desde pos-cuajado a fin de cosecha la ETc fue 572 mm y las lluvias 151(S1) y 201(S2) mm. Los riegos a 100 % ETc fueron 570 (S1) y 307 mm (S2). Existieron efectos significativos en los contenidos de nutrientes en plantas de las fechas de muestreo, sitio, riego y N fertilizado. La fertilización nitrogenada aumentó los contenidos de N foliar. El riego aumentó los contenidos de N, Ca, Fe, y Mg y disminuyó el K y el Zn. El aumento de lámina de riego promovió la precocidad de cosecha, e incrementó el rendimiento por planta, el peso y diámetro final de fruta. El tratamiento de 100% ETc, incrementó el rendimiento de fruta por hectárea en un 98% respecto al tratamiento control (no irrigado). El N incrementó principalmente el diámetro de frutos. El peso de brotes de poda y la sección transversal del tronco aumentó por efecto del riego y el N. No hubo efecto de la fertilización con K. El riego tuvo mayor efecto en el rendimiento, calidad de la fruta y crecimiento vegetativo, y generó más cambios en los contenidos de nutrientes en hojas y frutos que el factor N, y mientras que no se observó interacción significativa entre ambos.

Palabras clave: Nitrógeno, calidad de fruta, suelo, contenidos nutrientes

IRRIGATION AND NITROGEN FERTILISATION IN GALA APPLE TREES

SUMMARY

The aim of this study was to quantify the effect of the irrigation and nitrogen fertilization on the vegetative and productive response as well as the leaf and fruit nutrient accumulation of apple trees cv. 'Gala'. The experiment was conducted during 2008-09 season in two high density planting orchards grafting on M9 rootstock. Plants were seven years old at the beginning of the experiment. The soil of both experimental sites were classified as Typic Argiudol. The experimental design consist of a split plot design with four irrigation treatments (main plots): control (no irrigated), 50%, 75% and 100% of maximum crop evapotranspiration (ET_c), and four fertilization treatments (sub plots): 0 , 110, 220 and 110 kg N/ha + 120 kg K/ha. Was evaluated: soil moisture content, leaf water potential, leaf and fruit nutrient contents (N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, and Cu), trunk cross section, seasonal shoot length, seasonal shoot pruning weight, yield and number of fruit per plant, average fruit weight, fruit diameter, fruit color, pulp pressure and titratable acidity and soluble solids concentration. From post-fruit set to harvest the ET_c was 572 mm and total rainfall accumulation in Site 1 (S1) and Site 2 (S2) were 151 and 201 mm respectively. Total irrigation of 100% ET_c treatment was 570 (S1) and 307 mm (S2). Significant effects of site, sampling dates, N fertilization and irrigation treatments were detected. Nitrogen fertilization increased leaf N contents. Irrigation increased the contents of N, Ca, Fe, and Mg and decreased K and Zn. Earliness of harvest, yield per plant, fruit weight and final fruit diameter was increased with irrigation level. Compared to the control, the 100% ET_c treatment, increased 98% yield per hectare. Average fruit diameter was increased with N availability. No effect of potassium fertilization was detected. Irrigation factor had a greater effect on yield, fruit quality, vegetative growth, and induced more changes in nutrient contents in leaves and fruits than the factor N fertilization, while no significant interaction between factors was detected.

Keywords: Nitrogen, fruit quality, soil nutrient content

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cultivares de manzanos ‘Gala’ originarios de Nueva Zelanda se han expandido en superficie por su aceptación en el mercado. Actualmente las producciones crecientes de frutas han saturado el consumo a escala nacional e internacional. Por esto existen numerosas investigaciones en busca de mayores calidades y rendimientos de frutas optimizando el uso de factores de producción, en este trabajo se estudió el factor agua y la nutrición mineral.

En montes de manzano con alta densidad de planta usualmente se espera rendimientos de 50 t ha^{-1} , resultando una significativa salida neta de nitrógeno y de potasio del monte (Malaguti *et al.*, 2006). El riego localizado por sus características disminuye el lavado de N aumentando la eficiencia en el uso de este nutriente. La eficiencia en la extracción de nitrógeno es alta sólo cuando el árbol realiza la fotosíntesis (Fernandéz, 1999).

Existen en el mundo diversas estrategias de riego, adaptadas fundamentalmente al clima (principalmente radiación solar) y al suelo de una región, de forma de mejorar la calidad y el rendimiento del manzano. El riego diario se adapta al método de riego por goteo, es una estrategia que repone el agua de la evapotranspiración del cultivo (ETc) (Doorenbos y Pruitt, 1977). Este método es el más utilizado por los fruticultores en nuestro país (DIEA, 2012), permite el ferti-riego y su automatización (Doorenbos y Pruitt, 1977).

La región frutícola sur del Uruguay es de clima subtropical templada con precipitaciones anuales de 1100 mm (INIA, 2012). Cuenta con una superficie de 7363 há de frutales de hoja caduca de las cuales 3508 há son de manzano. El cv. Gala representa el 20% de la producción total de manzanas en el país. Este se riega en el 90% y en su mayoría está injertada sobre el portainjerto M9 de baja resistencia a sequía (DIEA, 2012). El manejo adecuado del factor riego y fertilización son determinantes en un monte frutal, para ser productivamente rentable y cuidar el medio ambiente (Casero *et al.*, 2003).

Este trabajo tomó como hipótesis la existencia de una respuesta productiva-vegetativa al riego y a las aplicaciones de N en plantas del manzano cv. Gala, y que en estas se afectan los contenidos y relación de nutrientes en hoja y fruta debido a la aplicación de estos factores. Los resultados se presentarán en la modalidad de trabajo final en dos artículos, uno enfocado al efecto del riego y la fertilización sobre la respuesta productiva y el otro sobre el estado nutricional de la planta.

1.1.EL RIEGO EN EL CULTIVO DEL MANZANO

Diversos autores coinciden en el efecto beneficioso del riego en el crecimiento y el rendimiento de los árboles de manzano (Mills *et al.*, 1994, Landsberg y Jones, 1981). De igual forma los beneficios son acumulativos, y requieren varios años para manifestarse (Salter y Goode, citados por Hewett, 1976), pero los efectos negativos de un déficit hídrico se manifiestan inmediatamente en las plantas (Veihmeyer y Hendrickson, 1950).

Las necesidades de agua del manzano se aproximan a 600 mm, García *et al.* (2003) estimaron en un período de seis años el consumo de agua promedio para un monte de manzano adulto fue en 680 mm. En zonas semiáridas con precipitaciones menores de 300 milímetros en la temporada de crecimiento del manzano existen respuestas productivas significativas al agua aplicada (Lieb, 2005, Barros, 1998). En zonas más húmedas con precipitaciones mayores a 450 mm en la temporada de crecimiento del manzano estas respuestas se minimizan y no se diferencian variables productivas entre diferentes tratamientos de riego (García, 2006, García *et al.*, 2003).

En zonas del mundo con frecuencia e intensidad erráticas de precipitaciones es de interés ajustar el manejo del riego (Dragoni *et al.*, 2004, García *et al.*, 2003, Contepas, 1993). En la región sur del Uruguay según datos promedio climáticos históricos existe un déficit hídrico de 230 mm desde el mes de octubre al mes de marzo, periodo en el cual crece el manzano (INIA, 2012). Por esta razón en regiones húmedas como la de nuestro país, si faltan las lluvias se presenta un estrés hídrico que se manifiesta en efectos negativos en el desarrollo de los árboles y en la calidad de los frutos (Mills *et al.*,

1994). A esto Landsberg y Jones (1981) le adjudican al riego: mejora en el crecimiento del árbol, aumento en el rendimiento y tamaño del fruto.

1.1.1. El agua en el suelo

El suelo funciona como un reservorio de agua, que permite conciliar hasta cierto punto, las necesidades hídricas continuas de la planta con el aporte esporádico de las lluvias y de los riegos (García, 1984).

Todo estrés hídrico afecta el desarrollo de los árboles frutales. El crecimiento de las raíces es el primer afectado por el exceso o falta de humedad del suelo, ya que crece en suelos húmedos y bien aireados (Uriu y Magness, 1967). Plantas de manzano en suelos con alta capacidad para almacenar agua pueden tolerar más el estrés (Pola *et al.*, 1991). El sistema radicular del manzano puede encontrarse a profundidades superiores a 1,00 m (Allen *et al.*, 1998), pero la mayor parte de las raíces finas, responsables principales de la absorción de agua y nutrientes, se encontraron a 0,50 m de profundidad (Bernardi, 2004). La extracción del agua del suelo a principios de la temporada es mayor en la superficie del suelo, debido probablemente a una mayor actividad radical por una temperatura de suelo más favorable. Más adelante en la estación, la absorción del agua es proporcional a la concentración de las raíces funcionales en cada parte del suelo (Uriu y Magness, 1967).

La oferta hídrica de los cultivos, puede considerarse desde un punto de vista estático como el agua disponible, o sea, es el agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo (0,01-0,03 Mpa) y el coeficiente de marchitez permanente (1,5 Mpa). Este concepto es de utilidad para la caracterización de los suelos, para estimar su capacidad de suministro de agua a las plantas y para determinar riegos o realizar balances hídricos (Durán *et al.*, 1992). El conocimiento de la capacidad de almacenamiento, contenido y tensión del agua disponible en el suelo es fundamental para evaluar el estado hídrico de los cultivos y determinar los momentos óptimos de riego y su magnitud. La profundidad del suelo y su capacidad para almacenar agua son factores determinantes en las

necesidades de riego en áreas donde la distribución de las precipitaciones es errática e incierta (Holzapfel *et al.*, 1995).

Assaf *et al.* (1975) confirmaron que cuando el suelo alcanzó el 40% del agua disponible (AD) de 0-60cm de profundidad de suelo, simultáneamente de 60 a 120 cm el AD fue 80%. En este sentido, Calcetto *et al.* (2007), demostraron que a 20 cm de profundidad se incrementó la humedad del suelo paralelo a aumentos de los caudales de riego, pero en horizontes más profundos (40 y 70 cm de profundidad) ningún tratamiento de riego hizo variar la humedad del suelo.

Hewett (1976) concuerda con Assaf *et al.* (1974) en sus trabajos que el punto crítico en el crecimiento del manzano es de 30% del contenido de AD para un suelo arcillo limoso de 45 centímetros de enraizamiento. Otros autores obtuvieron mejores resultados productivos manteniendo la humedad del suelo a 70% y 85% del AD (Assaf *et al.*, 1975; Beukes y Weber, 1982; Lötter *et al.*, 1985; Leib *et al.*, 2006). Por otro lado un nivel de 25% de AD puede ser tolerado durante los primeros días post floración y en periodos poscosecha (Lötter *et al.*, 1985).

1.1.2. Demanda hídrica

La demanda hídrica de la planta es la generadora de los gradientes de potencial hídrico necesario para la succión del agua desde el suelo hacia las hojas y tiene dos orígenes: los requerimientos metabólicos y la transpiración en los vegetales. El factor ambiental más importante en determinar las variaciones diarias del potencial hídrico en hoja es la radiación solar, que explicaría entre el 76 y el 97 % de sus variaciones (Smart y Barrs, 1973). Por esta razón la latitud de una región determina la cantidad de radiación potencial que llega a las plantas, pero existen factores externos a este que actúan como filtro de radiación en zonas húmedas o de precipitaciones entre 800-1200 mm (latitudes 34-35°) como la nubosidad que determinan el porcentaje de horas de sol y disminuyen la demanda hídrica y los requerimientos de agua y por ende de riego.

1.1.3. Respuesta vegetativa al agua aplicada: crecimiento del tronco y poda

Los brotes pueden empezar a exportar carbohidratos a partir de la 2ª o 3ª semana luego del inicio de la brotación de las yemas (Johnson y Lakso, 1986). El crecimiento de los brotes es muy rápido entre la 3ª y 4ª semana, después de floración (Forshey *et al.*, 1983) y se completa a mediados del verano. En manzanos Cox's Orange Pippin de cuatro años de edad que se sometieron a déficit hídricos en dos períodos: durante el mes de diciembre y otros durante enero y febrero, se encontró que el déficit hídrico afectó más la extensión de brotes, con respecto a los tratamientos mantenidos a capacidad de campo, en el primer periodo (37%) que en el segundo (7%) respectivamente (Irving y Drost, 1987). Chauhan *et al.*, (2005), cuantificaron en tres variedades de manzanos de 11 años, mayor extensión de brotes con riegos a 80% de la ETc, diferenciándose del tratamiento 100% de la ETc. Childers (1982) observó que la deficiencia de agua provocó una menor elongación de los brotes y un menor tamaño de las hojas cuando la sequía ocurrió al comienzo de la estación de crecimiento, dado que la elongación de los brotes se completa dentro de las seis semanas de comenzado el crecimiento

En climas áridos las respuestas al riego son significativas y el control del déficit hídrico por riego deficitario es una herramienta de manejo del crecimiento vegetativo (Lieb, *et al.*, 2005). En climas más lluviosos, Higgs y Jones (1990) manteniendo el suelo cercano a la capacidad de campo obtuvieron un incremento con respecto al tratamiento secano de 13 a 20% en el peso acumulado de la poda invernal y de un centímetro más de circunferencia del tronco por año. Beukes y Weber (1982) obtuvieron los mayores incrementos vegetativos manteniendo el suelo con el 85% del agua disponible. Gómez (1996) en manzanos cv. Royal Gala verificó incrementos significativos en el crecimiento vegetativo al aumentar la dosis de riego. Por otro lado Spangenberg *et al.* (1985), evidenciaron un mayor crecimiento del tronco en el ensayo bajo riego, pero no encontraron diferencias significativas entre tratamientos regados. En ensayos en Uruguay el tratamiento que logró mayor crecimiento de tronco y poda invernal fue el riego a 50% de la ETc en el cual la humedad del perfil del suelo fue la más cercana a la

capacidad de campo, y las lluvias registradas fueron mayores a 500 mm en la temporada de crecimiento del manzano (Calcetto *et al.*, 2007). En un cultivar de manzanos Royal Gala, García C. (2006), no encontró diferencias significativas en el crecimiento de la sección transversal del tronco, para los tratamientos en los que el riego comenzó luego de acumular 30, 45 y 60 mm de ETc, probablemente las precipitaciones registradas en el ensayo (en el rango de 400-500 mm) que minimizaron las respuestas vegetativas. Pola *et al.* (1991) no encontraron diferencias significativas en el crecimiento del tronco en el cv. Royal Gala sobre portainjerto M7, entre los árboles regados y los no regados, a pesar de que estos últimos no recibieron agua desde mediados de diciembre. Los autores suponen que fue debido a que el suelo es muy arcilloso y profundo con alta capacidad de retención de agua.

1.1.4. Respuesta productiva al agua aplicada: calidad y rendimiento de frutas

En regiones húmedas, en ausencia de lluvias se presenta un estrés hídrico que se manifiesta en efectos negativos en el desarrollo de los árboles y en la calidad de los frutos (Mills *et al.*, 1994). El período de crecimiento rápido del brote y el inicio del crecimiento rápido del fruto (Lineal, fase II) son momentos sensibles al déficit hídrico (Irving y Drost, 1987).

La sensibilidad de los árboles a las deficiencias hídricas se relaciona con el estadio fenológico y la producción de frutos que presenta. Ésta aumenta cuanto mayor sea la cantidad de frutos (Landsberg y Jones, 1981). El riego incrementó el rendimiento por el aumento del número de frutas y tamaño medio de éstas (Hipps, 1997). García M. *et al.* (2003) en seis años de evaluación de riego en manzanos (0, 50%, 100%, 150 % de la ETc), no encontraron diferencias significativas en el rendimiento de frutas en los primeros 3 años, sin embargo, en una de las temporadas (1999-2000) los autores verificaron diferencias entre los tratamientos regados y no regados. Reducciones de 20 a 40 % de riego con respecto a la ETc máxima (100%) no afectaron el rendimiento (kg ha⁻¹) pero sí el calibre de fruta en varios cultivares de manzanas (Gispert, 2002).

En un cultivar de manzanos Royal Gala, García, C. (2006) no encontró diferencias significativas en el diámetro de frutos entre los tratamientos de riego, lo que se explica principalmente por las lluvias registradas de 481 mm en el periodo de crecimiento del manzano. Concuerda con trabajos de Lotter *et al.* (1985) en Sudáfrica e Irving y Drost (1987) en Nueva Zelanda que en tratamientos de riego diferencial no encontraron diferencias en el diámetro ecuatorial promedio. Resultados similares fueron obtenidos por García *et al.* (2003) al regar manzanos en un año de evaluación con precipitaciones de 570 mm entre los meses de setiembre a marzo.

En cuanto a la calidad interna del fruto, condiciones de menores niveles de humedad en el suelo proporcionan mayor firmeza de pulpa de frutos, mayor concentración de sólidos solubles (SS) y menor acidez (AT) (Assaf *et al.*, 1975; Behboudian *et al.*, 1998; Bonany y Camps, 1998). En este sentido, Chauhan *et al.* (2005), cuantificaron en tres variedades de manzanos rendimientos máximos con tratamiento del 100% con respecto a riegos a 80% de la ETc, pero los sólidos solubles fueron mayores con riegos a 60% de la ETc. En lo que respecta al color rojo de la cáscara de la manzana el déficit hídrico incrementa de forma indirecta a la coloración roja de la fruta por la reducción del crecimiento vegetativo y un correlativo incremento de la penetración de la luz directa en la canopia.

1.1.5. El riego en la nutrición mineral del manzano

Un equilibrio entre el riego y la fertilización determina condiciones favorables de crecimiento y así evitar excesos de vigor, que conllevan a enfermedades y desórdenes fisiológicos y que afectan en forma significativa el rendimiento y la calidad final de los frutos (Holzapfel *et al.*, 1995).

Si la humedad del suelo no es adecuada la nutrición de las plantas de manzano es deficiente (Carballo, 1995). La ocurrencia de un déficit hídrico durante un período de crecimiento de frutos perjudica la absorción de nutrientes, y disminuye el crecimiento de las plantas (Assaf *et al.*, 1974). El riego incrementó los contenidos de N, K, Ca, Zn con

riegos a 100% de la Etc, comparados con el control; contenidos significativos mayores de P, Mg y Fe se obtuvieron con riegos a 100% de la ETc, comparados con riegos a 80% de la ETc (Chauhan *et al.*, 2005).

El empleo del análisis foliar y la evaluación de la respuesta permite la optimización de la fertilización (Fernández, 1999). Por sus características el riego localizado disminuye el lavado de N aumentando la eficiencia en el uso de este elemento. La concentración de N en hojas fue reducida por el aumento de riego, siendo debido a que el riego incrementó el crecimiento vegetal y diluyó el contenido de N en la planta (Hipps, 1997). Por otro lado, el riego tiene efecto positivo en la movilidad de K en el suelo y en su asimilación, y por esto aumentó su contenido en las hojas (Malaguti, *et al.*, 2006).

1.2. EL NITRÓGENO EN EL CULTIVO DEL MANZANO

El nitrógeno en el cultivo del manzano es el elemento más requerido junto con el potasio y a la vez el más móvil en el suelo. En montes de manzano con alta densidad de planta usualmente se espera rendimientos de 50 t ha⁻¹, resultando una salida significativa neta de nitrógeno y de potasio del monte (Malaguti *et al.*, 2006).

El desarrollo foliar y la emergencia de los brotes en primavera (brotación-cuajado) depende casi exclusivamente del N de las reservas. Aplicaciones de N en primavera promueven el desarrollo vegetativo y producen alta concentración de N en frutos. En cambio aplicaciones de N en precosecha (tres semanas antes) causan aumento de reservas en hoja y parte aérea pero disminuye el N que se dirige hacia frutos. Por último la aplicación de N en post cosecha, aumenta el N en raíces, pero disminuye el traslado a la parte aérea (Sánchez, 1995).

El riego localizado por sus características disminuye el lavado de N aumentando la eficiencia en el uso de N (García, 2000). La eficiencia en la extracción de nitrógeno es alta sólo cuando el árbol realiza la fotosíntesis. La eficiencia de recuperación del N aplicado fue de 25-30 % independiente del hábito de crecimiento del manzano (spur o

estándar), o del modo y época de aplicación del N (Khemira, 1995), en otro reporte Ruiz (1986) en plantas de manzana cv. *Ganny Smith* observó una eficiencia de recuperación de N de 27%.

El conocimiento en cuanto a dosis y momento de aplicación del N, así como los efectos que ejerce sobre los equilibrios nutricionales es escaso (Casero *et al.*, 2003).

1.2.1. Respuesta vegetativa-productiva a la fertilización con N

La fertilización nitrogenada es la más utilizada y ejerce un marcado efecto en la composición del fruto y en su calidad. Aumentar en exceso el nitrógeno aumenta el tamaño de frutos, pero la concentración de otros nutrientes disminuyen por dilución (Casero *et al.*, 2003). Asimismo el exceso de N provoca incremento en el tamaño de frutas pero no el incremento del rendimiento total de frutas, pues se genera un gasto de energía en el aumento del número y tamaño medio de brotes vegetativos (Hipps, 1997).

Existen respuestas vegetales variadas en cuanto al efecto del N fertilizado en el rendimiento y la calidad de frutos, según Weinbaum *et al.* (1992), en manzanos de 6 años, aplicaciones de 50 a 150 kg de N producen rendimientos crecientes de 47,7 a 54,4 t ha⁻¹. Por otro lado se disminuyó el rendimiento de frutos de plantas del manzano *cvar. Gala* al disminuir la fertilización de 80 Kg N a 40 kg N ha⁻¹ (Malaguti, *et al.*, 2006). En otro trabajo el tratamiento de 120 kg N ha⁻¹ aplicado resultó con los mayores rendimientos de frutas (Cmelik *et al.*, 2006). El exceso de N fertilizado (mayor a 150 kg ha⁻¹) favorece el consumo de lujo, y no afecta a la producción pero sí puede influir negativamente en la calidad de la fruta y provocar interacciones no deseables con otros nutrientes (Casero *et al.*, 2003). Tratamientos de 50 kg N ha⁻¹ mejoraron las variables de calidad de fruta en comparación a tratamiento sin aplicación de N y tratamiento de 150 kg N ha⁻¹ (Noe *et al.*, 1997).

El nivel de fertilización nitrogenada en manzano afecta la calidad y el color de frutos (Olsen *et al.*, 1967). Noe *et al.* (1997) demostraron que dosis altas de N incrementaron la firmeza de pulpa, los autores asumen que esto sucedió por un atraso de la cosecha. Los

autores mencionados anteriormente coinciden con Cmelik *et al.* 2006 que afirman que la firmeza de pulpa y el contenido de almidón tienden a subir, mientras que los sólidos solubles disminuyen. En cambio Nielsen *et al.* (2000) verificaron una disminución de la presión de pulpa y acidez titulable con el incremento de N aplicado, si la fertilización se aplica dos semanas después de plena floración. Por otro lado, no fueron consistentes los resultados de Nielsen *et al.* (2000) en la disminución del porcentaje de color rojo por el efecto del N aplicado, debido a que esta variable disminuyó en uno de tres años de evaluación.

1.3. CONTENIDOS Y RELACIONES DE NUTRIENTES EN HOJA Y FRUTOS

1.3.1. Contenidos foliares

El máximo crecimiento y productividad de árboles de frutales de hoja caduca ocurre cuando coincide la concentración óptima de nutrientes y sus balance con otros nutrientes (Faust y Shear, 1980). Los estándares minerales de hoja, flor y fruto son una herramienta que permite diagnosticar y corregir de manera temprana los desbalances minerales (Mancera *et al.*, 2007). En este sentido el empleo del análisis foliar y la evaluación de la respuesta vegetal permite la optimización de la fertilización (Fernández, 1999). En el Cuadro 1 se muestra el rango de concentraciones foliares de macronutrientes y micronutrientes para el cultivo del manzano, (Bright, 2005), como así también los niveles críticos expresados por Sánchez (1999).

Cuadro 1. Rango de concentración de nutrientes foliar (% en peso seco) de estándares internacionales según niveles de suficiencia y niveles críticos en plantas de manzano.

% PS – ppm	†Deficiente	nivel bajo	nivel normal	nivel alto	Exceso	‡ Nivel Crítico
N	< 1,6	1,6-1,9	2,0-2,4	2,5-3,0	>3	2,0-2,4
P	< 0,1	0,1-0,14	0,15-0,2	0,21-0,30	>0,3	0,13-0,45
K	< 0,8	0,8-1,0	1,1-1,5	1,6-2,0	>2,0	1,2-2,0
Ca	< 0,7	0,7-1,1	1,1-2,0	2,1-2,5	>2,5	1,1-2,5
Mg	< 0,18	0,18-0,24	0,25-0,35	0,36-0,5	>0,5	0,24-0,50
Zn	< 10	10-15-	16-50	>50	-	20-60
Mn	< 20	20-24	25-100	101-200	>200	30-100
Cu	< 4	4-5-	6-20	21-100	-	5-15
B	< 15	15-19	20-60	61-200	>200	30-60

† Extraído de Bright, J. (2005); ‡ Nivel crítico de nutrientes de muestras foliares en el Hemisferio sur extraído de Sánchez, 1999, para los meses de enero-febrero.

Ruíz (1986) determinó estándares diferenciales de los contenidos de N en hojas según los cultivares de manzanos. Para el cv. *Granny Smith* valores deficientes son menores a 1,7%, niveles bajos 1,7-1,9 %, y niveles adecuados mayores a 1,9%. Para el cv. *Richared* valores deficientes son los menores a 1,9 %, niveles bajos 1,9-2,2 %, y niveles adecuados mayores a 2,2 %.

1.3.2. El N, K y Ca en el fruto

Los nutrientes acumulados en los frutos en el momento de la cosecha alcanzan valores altos de K y N y relativamente menores el Ca (Casero *et al.*, 1999).

El potasio es el nutriente más abundante en el fruto y su movimiento en la planta es vía xilema y floema (Giaquinta, 1983). Éste se acumula gradualmente en toda la temporada del crecimiento del fruto, en especial a partir del crecimiento celular y en el proceso de su desarrollo final.

El nitrógeno es un elemento muy abundante pero en menor grado que el potasio, se acumula en toda la temporada de crecimiento del manzano pero su pico de absorción es

a mediados de la temporada. Los valores más altos de velocidad de absorción se dan a partir de los 30 días de la plena floración (Casero *et al.*, 1999).

El calcio es absorbido y se transporta vía xilema por diferencias de potencial hídrico, por lo que los cambios evaporativos de la atmósfera influyen en el transporte del mismo (Cline *et al.*, 1991). Es un nutriente importante en el fruto como su relación con el N y el K (Fallahi *et al.*, 1997). Altos niveles de N ó K foliares en comparación al los contenidos de Ca, predisponen a los frutos a una mayor incidencia de desórdenes fisiológicos como el ‘Bitter Pit’ (Ogawa y English, 1991). Shear (1975) reporta que es posible almacenar manzana con una relación N/Ca de 10 en base a peso seco en la pulpa sin afectar su calidad. Si esta relación se incrementa a 30, la fruta sufrirá colapso senescente y se afectará su calidad.

1.3.3. Cambios en los contenidos de nutriente en hoja y fruto debido al N fertilizado

Existen respuestas variadas del efecto del N fertilizado en las variaciones de los contenidos de nutrientes en frutas y hojas. Los contenidos de N en las plantas del manzano se incrementaron en hojas y en frutos como respuesta al incremento de N aplicado (Cmelik *et al.*, 2006; Nielsen *et al.* 2000, Hipps, 1997; Ruiz, 1986), pero no se modificó el contenido de otros nutrientes en fruta (Cmelik *et al.*, 2006), excepto el P que disminuyó (Nielsen *et al.*, 2000; Hipps, 1997) junto con el K (Hipps, 1997). Por otro lado la aplicación de N varió las concentraciones de otros nutrientes en hojas (Nielsen *et al.*, 2000) y disminuyó los contenidos en hoja de K y aumentó el Mg (Fallahi *et al.*, 1997; Ruiz, 1986).

2. EL RIEGO Y EL NITRÓGENO AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL MANZANO CV. GALA¹

RESUMEN

Se cuantificó el efecto del riego y el N aplicado en la productividad de frutos en plantas de manzano *Malus domestica* Borkh cv. 'Gala' durante la temporada 2008-09. Se evaluaron dos montes (sitio 1 (S1) y sitio 2 (S2)) de siete años de edad, en alta densidad de plantas, implantadas sobre portainjerto M9 y suelos franco-arcillo-limoso Argiudol Típico. El diseño experimental fue parcela divididas con cuatro tratamientos de riego (parcela grande): testigo (sin irrigación), 50%, 75% y 100% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc); combinada con cuatro fertilizaciones (parcela chica) 0, 110, 220 Kg N ha⁻¹ y 110 Kg N ha⁻¹ + 120 Kg K ha⁻¹, y cuatro repeticiones de tres plantas. Se evaluó: sección transversal de tronco, peso de brotes del año en poda invernal; número, peso, diámetro ecuatorial, color, presión de pulpa, acidez titulable y sólidos solubles en frutos. Desde pos-cuajado a fin de cosecha la ETc fue 572 mm y las lluvias fueron 173 (S1) y 201 mm (S2). Los riegos a máxima demanda (100 % ETc) fueron 570 (S1) y 307 mm (S2). El aumento de la lámina de riego promovió la precocidad de cosecha, el rendimiento por planta, y el peso y diámetro de fruta. El tratamiento de 100% ETc, incrementó el rendimiento de fruta por hectárea en un 98% respecto al tratamiento control (no irrigado). Además el riego disminuyó la presión de pulpa y la concentración de sólidos solubles. El peso de brotes de poda y la sección transversal del tronco se vio acrecentado tanto por efecto del riego como del N. No hubo efecto de la fertilización con K. El efecto del riego en el rendimiento, calidad de la fruta y crecimiento vegetativo fue mayor que el del N.

Palabras clave: fertilización, calidad de fruta, *Malus domestica*, rendimiento, suelo.

¹ Este capítulo será enviado a la revista Agrobiencia Uruguay para ser publicado como: Campi, P., García, C., García, M. El riego y el nitrógeno afectan la productividad del manzano cv. Gala.

IRRIGATION AND NITROGEN FERTILISATION IN GALA APPLE TREES: EFFECTS ON YIELD COMPONENTS

SUMMARY

The effect of irrigation and nitrogen fertilization on the productivity of apple trees *Malus domestica* Borkh cv. Gala was quantified during the 2008-09 season. The experiment was conducted in two high density planting orchards grafted on M9 rootstocks. Plants were seven years old at the beginning of the experiment and the soil of both experimental sites were classified as Typic Argiudol. The experimental design consisted of a split plot with four irrigation treatments (main plots): control (no irrigation), 50%, 75% and 100% of maximum crop evapotranspiration (ET_c), and four fertilization treatments (sub plots): 0, 110, 220 and 110 kg N ha⁻¹ + 120 kg K ha⁻¹. Parameters evaluated were: tree trunk cross section, seasonal shoot length, seasonal shoot pruning weight, yield and number of fruit per plant, average fruit weight, fruit diameter, color, fruit firmness, and titratable acidity and soluble solids concentration. From post-fruit set to harvest the ET_c was 572 mm and total rainfall accumulation in site 1 (S1) and site 2 (S2) was 151 and 201 mm respectively. Total irrigation in the 100% ET_c treatment was 570 (S1) and 307 mm (S2). Irrigation induced earliness of harvest, while yield per plant, fruit weight and final fruit diameter increased with irrigation level. Compared to the control, the 100% ET_c treatment, increased 98% yield per hectare. Irrigation decreased the pressure of fruit pulp and fruit soluble solids concentration. In addition, both irrigation and nitrogen fertilization increased seasonal shoot pruning weight and trunk cross section while no effect of K fertilization was detected. Finally, irrigation factor had a greater effect on yield, fruit quality, and vegetative growth than the factor N fertilization.

Keywords: fertilization, yield, fruit quality, *Malus domestica*, soil

2.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó en la región frutícola del Uruguay con clima subtropical templado, se ubica entre 34° y 35° latitud sur, con precipitaciones anuales de 1100 mm (datos promedio de EE-INIA-Las Brujas). Actualmente el mercado de frutos del manzano cv. Gala exige calidad de frutas, rendimientos y precocidad de cosecha.

Periodos de faltantes de lluvias en regiones húmedas, generan estrés hídrico y afectan negativamente el desarrollo de los árboles y calidad de los frutos del manzano (Mills *et al.*, 1994). En regiones del mundo con frecuencia e intensidad erráticas de precipitaciones es de interés ajustar el manejo del riego (Contepas, 1993; García *et al.*, 2003; Dragoni *et al.*, 2004; García, 2006). En climas áridos las respuestas al riego son significativas (Lieb *et al.*, 2005), por otro lado, con precipitaciones mayores a 450 mm en la estación de crecimiento las respuestas productivas al riego se minimizan (García *et al.*, 2003; García, 2006). Pola *et al.* (1991) no hallaron respuestas productivas al riego, a pesar de las ausencias de lluvias existentes a partir de mediados del mes de diciembre (HS).

Landsberg y Jones (1981) adjudican al riego tres beneficios principales: mejora en el crecimiento del árbol, aumento en el rendimiento y tamaño del fruto. Irving y Drost (1987) determinaron que el inicio de crecimiento rápido del fruto es un momento sensible al déficit hídrico. Gispert (2002) al reducir el riego no obtuvo diferencias en el rendimiento pero sí en el calibre de frutos. Menores contenidos de humedad en el suelo proporcionan mayor firmeza de pulpa y concentración de sólidos solubles (SS), y menor acidez (AT) (Assaf *et al.*, 1975; Behboudian *et al.*, 1998; Bonany y Camps, 1998). Chauhan *et al.* (2005), incrementó los SS con riegos restrictivo a 60% de la ETc. El déficit hídrico incrementa de forma indirecta la coloración roja de la fruta por la reducción del crecimiento vegetativo y consecuentemente mayor exposición de los frutos a la luz directa (Naor, 1997). El crecimiento vegetativo está relacionado con el crecimiento del fruto y es sensible al déficit hídrico. Gómez (1996) en manzanos del cvar. 'Royal Gala' verificó incrementos significativos en el crecimiento vegetativo al

aumentar la dosis de riego. Spangenberg *et al.* (1985), evidenciaron un mayor crecimiento del tronco en los tratamientos bajo riego, pero no encontraron diferencias significativas entre tratamientos regados. En Uruguay el tratamiento de riego que logró mayor crecimiento de tronco y poda invernal fue el que mantuvo la humedad del suelo a capacidad de campo (Calcetto *et al.*, 2007).

La fertilización nitrogenada ejerce un marcado efecto en la composición del fruto y su calidad. La cantidad a aplicar, así como los efectos que ejerce sobre los equilibrios nutricionales no se conocen con claridad (Casero *et al.*, 2003). En montes de manzano con altos rendimiento existe una salida neta de nitrógeno y de potasio significativa (Malaguti *et al.*, 2006). Se han reportado diversas respuestas productivas al agregado de dosis de N de 40 a 150 kg ha⁻¹ (Weinbaim *et al.*, 1992; Malaguti *et al.*, 2006; Hipps, 1997). Existe inconsistencia en cuanto al efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de frutos de manzano. Generalmente, el nivel de fertilización nitrogenada en manzano afecta la calidad interna, el color y la firmeza de frutas (Olsen *et al.*, 1967). Particularmente, incrementos de N fertilizado tuvo efecto negativo en variables de calidad de frutos como presión de pulpa y acidez titulable, pero se mantuvo insensible el porcentaje de color rojo de los frutos y los desórdenes fisiológicos (Nielsen *et al.*, 2000). Contrariamente Noe *et al.* (1997) demostró que dosis altas de N incrementaron la firmeza de frutas, los autores asumen que esto sucedió por un atraso de la cosecha. Por otro, Cmelik *et al.* (2006) afirmaron que la firmeza de pulpa y el contenido de almidón tienden a incrementarse, mientras que los sólidos solubles disminuyen con el agregado de N.

Un equilibrio entre riegos y fertilización, determina las condiciones favorables de crecimiento para evitar excesos de vigor, que conllevan a enfermedades y desórdenes fisiológicos y que afectan en forma significativa el rendimiento y la calidad final de los frutos (Holzapfel *et al.*, 1995). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la respuesta en términos de crecimiento y productividad, a la aplicación de diferentes láminas de riego y de fertilizaciones con nitrógeno en árboles de manzano *Malus domestica* Borkh cv. 'Gala'.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Ubicación y diseño experimental

Los ensayos experimentales se realizaron en la localidad de Melilla Canelones, zona frutícola sur del Uruguay en dos montes comerciales “sitio 1(S1) y sitio 2 (S2)” de manzanos cv. ‘Gala’ (*Malus domestica* Borkh) de 7 años de edad. La densidad de plantación del S1 es 2105 plantas ha⁻¹ (3.8 m x 1,25 m) y el S2 de 2500 plantas ha⁻¹ (4 m x 1 m), conducidos ambos a líder central sobre el portainjertos M9. Los sitio del ensayo se seleccionó por menor variación de los diámetro de tronco de las plantas entre varios sitios, menores al 17% CV. El estado de plena flor correspondió con la fecha 8 de octubre del 2008 y el fin de cosecha el 23 de febrero del 2009. Se realizó un raleo temprano manual en poscujado antes de la inducción floral (tamaño de fruta 3 cm) y se definió un número de frutas promedio 130 frutos por árbol, este puede variar según tamaño de planta más menos 30 frutos.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en 4 bloques completos al azar, con cuatro tratamientos de riego (parcela principal): 50%, 75% y 100% de la ETc y un tratamiento testigo sin riego, y cuatro de fertilización: 0, 110, 220 y 110 Kg N ha⁻¹ +120 Kg K ha⁻¹. La unidad experimental fueron 5 plantas, donde se evaluaron las tres plantas centrales.

2.2.2. Suelo, clima y aplicación de riego y N

Al inicio del experimento se realizó un análisis químico y textural completo del suelo a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). El contenido de carbono (C) orgánico se determinó por digestión fría siguiendo la metodología de Nelson y Sommers (1982). La materia orgánica se estimó multiplicando el contenido de C orgánico por el factor 1,724. El potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se extrajeron con acetato de amonio y

determinaron por fotometría de absorción atómica de acuerdo a Jackson (1964). El fósforo (P) fue determinado por la metodología propuesta por Bray y Kurtz (1945). El nitrógeno total por el método de Kjeldhal clásico por Brenner (1965).

El suelo corresponde a un Argiudol Típico (Durán *et al.*, 2005), las características químicas, físicas e hídricas se describen en el Cuadro 1 para los dos sitios.

Cuadro 1. Propiedades químicas, físicas e hídricas de los suelo en el S1 y S2

Sitio 1					
Prof. (cm)	N-NO ₃ (μg N g ⁻¹)	†MO	Arena	Limo	Arcilla
			%		
0-20	3,7	1,8	21,4	43,4	35,1
20-40	3,2	1,9	22,6	42,5	34,9
	Ca	Mg	K	CICpH7	P(μg g ⁻¹)
		meq 100g ⁻¹			
0-20	8,8	3,5	0,4	17,0	55,5
20-40	9,6	4,6	0,5	18,5	70,8
	†LS	LI	AD	AD(mm)	DAP(g cm ⁻³)
		mm 10cm ⁻¹			
0-20	41,1	19,7	20,2	40,4	1,4
20-40	37,3	24,6	15,5	31,0	1,3
40-60	30,0	16,5	16,7	33,4	1,3
60-80	36,2	19,6	18,1	36,3	1,3
Sitio 2					
Prof. (cm)	N-NO ₃ (μg N g ⁻¹)	MO	Arena	Limo	Arcilla
			%		
0-20	3,2	2,3	16,8	48,0	35,2
20-40	2,5	2,0	18,1	49,4	32,5
	Ca	Mg	K	CICpH7	P(μg g ⁻¹)
		meq 100g ⁻¹			
0-20	9,7	3,2	1,0	16,1	74,5
20-40	10,7	3,7	0,8	17,6	56,4
	†LS	LI	AD	AD(mm)	DAP (g cm ⁻³)
		mm 10cm ⁻¹			
0-20	39,6	21,6	18,0	36,0	1,3
20-40	38,8	20,5	18,2	36,5	1,3
40-60	38,6	25,3	13,3	26,7	1,4
60-80	40,8	30,5	10,3	20,5	1,5

† Materia orgánica(MO), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), fósforo (P), Límite superior (LS), Límite inferior (LI), Agua Disponible (AD), Densidad Aparente(DAP)

Para el cálculo de las propiedades hídricas de cada sitio se recolectaron seis muestras imperturbadas (6 repeticiones) con cilindro de muestreo a cuatro diferentes profundidades: 20, 40, 60 y 80 cm. Luego estas muestras se colocaron en ollas a tensiones de 0,01; 0,03; 0,1; 0,5 y 1,5 Mpa siguiendo la metodología descrita por Richardt (1949). Con estos datos se determinó las curvas de tensión humedad, contenidos de humedad del límite superior (LS, a tensión 0,01 MPa) y límite inferior (LI, a tensión 1,5 Mpa), agua disponible (AD) y densidad aparente (Dap) para cada profundidad de suelo (Cuadro 1).

La estimación de la ETc se realizó por la evaporación diaria del tanque “A” (Eo), (EE INIA Las Brujas, 2008-09). Esta Eo fue corregida por un coeficiente de tanque promedio para los meses de noviembre a febrero $K_p=0,7$ (Corsi, 1994) para la EELB, este K_p -Corsi no difiere en su magnitud del coeficiente de tanque local promedio K_p único (0,71) para los meses de octubre a abril ajustado posteriormente por Puppo y García (2009). Con esta corrección se obtuvo la evapotranspiración de referencia (ETo). Posteriormente esta a ETo se corrigió por el coeficiente de cultivo (K_c) mensual derivado de la metodología propuesta por FAO (Allen *et al.*, 1998) y así obtener la ETc.

La precipitación fue registrada en cada sitio mediante pluviómetro estándar. Para caracterizar el nivel de precipitaciones registradas mensuales en el periodo de evaluación en este ensayo, éstas se compararon con las medias mensuales históricas de precipitaciones de registros de la estación meteorológica de la EE INIA Las Brujas (1973-2000). Con estos datos se realizó un cálculo de probabilidad de que se registre una precipitación igual o mayor a cierto valor con la formula: $P = n / (N + 1)$. Donde P: probabilidad de que ocurra un evento igual o mayor al considerado, n: número de registros de una serie ordenada del evento considerado, N: número total de registros en la serie.

El aporte de agua se realizó mediante emisores de flujo turbulento de diferentes caudales incorporados en una tubería de 15 mm de diámetro nominal. El inicio del riego fue el 15 y 1 noviembre 2008 para S1 y S2 respectivamente y el final del riego fue el 23 de febrero coincidiendo con el fin de la cosecha.

El agregado de N se fraccionó en tres momentos: 40% de N en Otoño en pos-cosecha (04/03/08), 50% de N en primavera, durante el cuajado (30/10/08) y 10% de N restante en pre- cosecha junto con el K (10/12/08).

2.2.3. Variables evaluadas y análisis estadístico

La humedad del suelo se midió por reflectometría por un equipo TDR para todos los tratamientos de riego cada 15 días en la temporada de crecimiento desde el 15/11/08 al 15/01/09 a una profundidad de 20 cm. Se evaluó el potencial xilemático al medio día por medio de una cámara de presión Soilmoisture 3005-1412, siguiendo el método descripto por Scholander *et al.* (1965), pero se ajustó la técnica por el método de Shackel (2001). Se tomaron seis hojas por parcela (dos hojas por planta) en el interior de la canopia, cubiertas por una bolsa de plástico y recubiertas por una hoja de papel aluminio, dejándolas cubiertas por 60 minutos para luego realizar la medición.

Se midió la circunferencia de tronco a 30 cm por encima de la unión del injerto de tres plantas por parcela, con una cinta métrica para luego calcular la sección transversal del tronco. Los momentos de medición fueron antes de la caída de hojas en el mes de mayo de 2008 y de 2009, luego se calculó el incremento de crecimiento. También en la parcela de tres árboles se evaluó el peso de la poda de 2009, recolectando y pesando individualmente 25 ramas al azar del crecimiento del año (Calcetto *et al.*, 2007).

La cosecha se realizó de acuerdo a criterios comerciales de color, tamaño, presión de pulpa (ver si fueron esos los criterios), en cuatro repases (inicio el 22/01/09 y finalización el 23/02/09) en el que se evaluó el número y peso de fruta total por planta. Por repase se sacó una muestra al azar de seis frutas por parcela donde se cuantificó: la presión de pulpa utilizando un penetrómetro con vástago de 11 mm en dos caras opuestas de la zona ecuatorial, previa remoción de piel, el porcentaje de color rojo, la concentración de sólidos solubles (SS) y la acidez titulable (AT).

En el S2 se midió la evolución del diámetro ecuatorial de frutos con calibre digital de 12 frutos por parcela (cuatro frutas por planta) seleccionadas al azar. El final de cosecha

se tomó una muestra de mayor tamaño de 40 frutos al azar por parcelas, y se midió su diámetro ecuatorial final.

Los efectos de los tratamientos se evaluaron por análisis de varianza. Los valores promedio se compararon por test de Tukey ($p < 0,05$), y a través de modelos de regresión múltiple y se ajustaron coeficientes de regresión por la metodología Step Wise ($Sle = 0,15$ y $Slo = 0,15$). También se realizaron análisis de correlación ($p < 0,05$). Para los análisis estadísticos se utilizó el software InfoStat.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Propiedades de los suelos

Se observó que los suelos de los S1 y S2 no difieren en forma significativa en sus propiedades hídricas, ellos almacenan 141,1 (S1) y 119,7 mm (S2) de agua disponible en 80 cm de suelo. Se encuentran dentro de una categoría de suelos fértiles (Brunosoles y Vertisoles) con una elevada capacidad de retención de agua, que dependiendo de la profundidad y el grado de erosión podría superar los 120 a 170 mm (Molfino y Califra 2001). El suelo del S1 por su posición topográfica, ladera alta y textura más arenosa ofrece menos resistencia a la sequía a pesar de tener mayor agua disponible en el perfil. Por otro lado, la fertilidad del suelo del S2 es mayor que el S1 por los mayores valores de porcentaje de materia orgánica y contenidos de nutrientes en suelo (cuadro 1).

2.3.2. Evapotranspiración del cultivo, agua aplicada, humedad en el suelo y potenciales xilemáticos

El verano fue severamente seco, en el que se registraron precipitaciones menores a las medias históricas. Esto se visualiza con las elevadas probabilidades de que ocurran precipitaciones iguales o mayores a las registradas en el año de evaluación (Cuadro 2). La respuesta vegetal al riego se incrementó por los déficits hídricos provocados por las

escasas lluvias registradas en los meses de noviembre, diciembre (2008), enero y febrero (2009) que sumaron un total de 174 mm.

Cuadro 2. Caracterización climática por ocurrencia y probabilidad de precipitaciones

Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
† PP promedio (mm)	106	80	93	108
PP registrada (mm)	22	41	8	103
Probabilidad PP (%)	‡87	65	90	34

† PP promedio (Precipitaciones promedio mensuales históricas para la zona de "Las Brujas" 1973-2000); PP (Precipitaciones mensuales registradas mensuales); Probabilidad PP (Probabilidades de ocurrencia de precipitaciones). ‡ Valores de probabilidad de que ocurran precipitaciones iguales o mayores a las registradas en el año de evaluación, calculadas con registros históricos de lluvias de la estación meteorológica de la EE INIA Las Brujas (serie de años 1973-2000).

En el periodo de crecimiento de las plantas desde el cuajado fin de cosecha de frutos (1/11/2008-22/02/2009) las precipitaciones registradas fueron 173 mm (S1) y 201 mm (S2) y la ETc fue de 572 mm. Si calculamos la diferencia entre las lluvias y la ETc, hubo un déficit hídrico bruto de 398 mm (suponiendo que todas las precipitaciones fueron 100 % efectivas). Otros trabajos nacionales con precipitaciones mayores a 450 mm en el periodo de crecimiento del manzano, no obtuvieron resultados productivos positivos con diferentes tratamientos de riego (García *et al.*, 2003; García, 2006), por lo que se espera respuesta al riego en el crecimiento, debido al severo déficit hídrico registrado.

Por las razones climáticas de sequía ya descritas, en el sitio S2 la fuente de agua superficial de riego fue limitante y a partir del mes de diciembre el agua aplicada fue restrictiva en un 46%, debiéndose ajustar los tratamientos a 54 %, 40,5 % y 27 %, en lugar de 100 %, 75 % y 50 % de la ETc, respectivamente. En el S1 se aplicó el agua en relación directa a la ETc estimada (cuadro 3).

Cuadro 3. Riego (% ETc), precipitaciones (PP) y ETc estimada quincenalmente

Sitio 1.					
Periodo (15 días)	Riego			PP	ETc
	50% ETc	75% ETc	100% ETc		
	mm				
01/11-15/11/08	0	0	0	22	58
16/11-30/11/08	22	33	44	0	63
01/12-15/12/08	55	83	111	23	74
16/11/-30/12/08	79	118	158	18	102
31/12/08-14/01/09	108	162	216	0	110
15/01-29/01/09	21	32	42	8	90
30/01-13/02/09	0	0	0	103	76
Totales	285	428	570	173	572
Sitio. 2					
01/11-15/11/08	38	56	75	50	58
16/11-30/11/08	35	53	70	0	63
01/12-15/12/08	15	23	30	23	74
16/11/-30/12/08	15	23	30	18	102
31/12/08-14/01/09	42	63	84	0	110
15/01-29/01/09	9	14	18	8	90
30/01-13/02/09	0	0	0	103	76
Totales	154	230	307	201	572

La humedad del suelo medida a 20 cm de profundidad fue diferente entre los tratamientos de riego, y sigue un patrón evolutivo similar en el tiempo. Se observa un incremento de la humedad en el suelo según las dosis incrementales de riego (Figura 1a, 1b).

Las diferencias en la evolución del agua en el suelo entre sitios se explican primero, por el riego restrictivo aplicado en el S2. En cambio en el S1 el agua aplicada total fue correlativa al 100% de la ETc. Un segundo aspecto de diferencia fue el inicio de riego, para el S1 fue el 15 de noviembre, y para el S2 fue el 1 noviembre del 2008, esto se refleja en las diferencias de humedad del suelo en las fecha de medición del 15/11/2008, punto de origen de las curvas de evolución de humedad en el tiempo (Cuadro 1 y Figura 1a, 1b).

En los dos sitios durante la estación de crecimiento el tratamiento en secano presentó menores valores de humedad en el suelo y estuvo por debajo del punto de marchitez permanente o límite inferior (LI); por el contrario, el tratamiento de riego a 100% ETc mantuvo la humedad en valores más altos y fue el más cercano a capacidad de campo o límite superior (LS). Los demás tratamientos presentaron resultados intermedios. Los tratamientos de riego se diferenciaron significativamente del secano, si bien existieron aumentos graduales de humedad en el suelo, correlativos a los aumentos de la lámina de riego, éstos no llegaron a ser significativos entre tratamientos de riego.

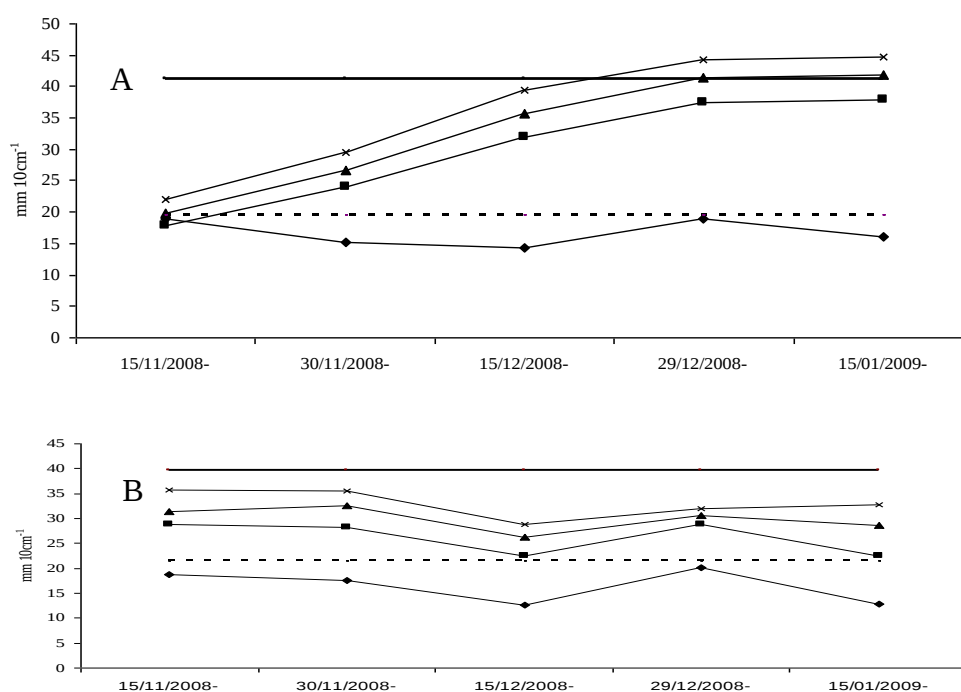


Figura 1. Evolución de la humedad del suelo a 20 cm de profundidad para los diferentes riegos aplicados en el sitio 1 (A) y en el sitio 2 (B). Referencias: Humedad del suelo mm10cm⁻¹: Línea horizontal continúa indica el Límite superior (LS) o Capacidad de campo, línea horizontal punteada límite inferior (LI) o capacidad de marchitez permanente, la línea con la letra X riego 100 % de ETc, Línea con triángulos riego a 75% de la ETc, Línea con cuadrados riego a 50% de la ETc y línea con rombos tratamiento sin riego.

La medición de la humedad del suelo se realizó a los 20 cm, considerando los resultados de Calcetto *et al.* (2007) y Assaf *et al.* (1975), en la medida que a mayores

profundidades del suelo la humedad aumenta y se minimizan las diferencias entre tratamientos de riego, ya que el suelo se seca de la superficie hacia abajo.

Por otro lado, en la figura 2 se visualizan las mediciones de potenciales xilemáticos para los diferentes tratamientos de riego en el periodo de crecimiento del fruto, y en días de alta demanda hídrica de las plantas, mayores a 10 mm de ETc diarios (2ª quincena de diciembre y 1ª quincena de enero).

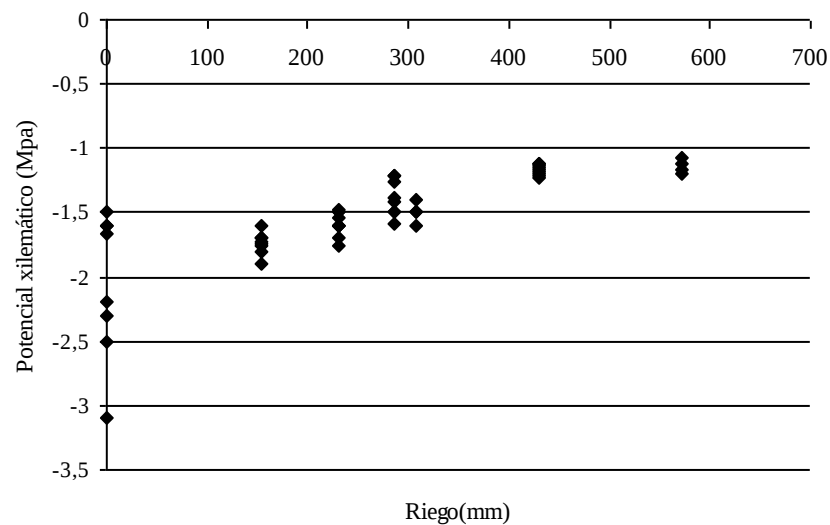


Figura 2. Valores obtenidos de potenciales xilemáticos según riego (mm) en el periodo de crecimiento del fruto, y en días de alta demanda hídrica de las plantas (meses de diciembre 2008 y enero 2009).

En las plantas de los tratamientos no regados y con riego restrictivo (154, 230, 287, 307 mm de agua aplicados) potencial hídrico presentó valores por debajo de -1.3 MPa de (Figura 2). Se coincide con Naor *et al.* (1997) en cuanto a que potenciales hídricos por debajo de -1.3 Mpa disminuye el peso de fruta promedio y el rendimiento por hectárea, como se detalla más adelante en el cuadro 4.

2.3.3. Rendimiento, diámetro ecuatorial, peso final y precocidad de frutos

El riego incrementó significativamente las variables diámetro ecuatorial, peso, rendimiento y precocidad de frutos, como muestran las Figuras 3, 4, 5, 6 y los Cuadros 4 y 5. Si bien estos resultados no coinciden con antecedentes locales (García *et al.*, 2003; García, 2006), estas diferencias se explican en primera instancia por las bajas precipitaciones registradas (173 (S1) y 207 mm (S2)) durante la estación de crecimiento en este ensayo, que maximizaron las respuestas al riego, en comparación a los trabajos mencionados en los que se registraron lluvias mayores a 450 mm. La escasez de precipitaciones provoca mayores respuestas productivas al riego, esto coincide con Mills *et al.* (1994); Contepas (1993); Dragoni *et al.* (2004), quienes reportan que los períodos de faltantes de lluvias en regiones húmedas, generan estrés hídrico y afectan negativamente el desarrollo de los árboles y la calidad de los frutos. En climas áridos las respuestas al riego son claras y significativas (Lieb *et al.*, 2005; Barros, 1998), y en este trabajo la escasez de precipitaciones caracterizó a la estación de crecimiento como seca, repercutiendo negativamente en el crecimiento de la plantas. En cambio Pola *et al.* (1991) en Brasil en el mes de diciembre con alta radiación solar y sin precipitaciones, no obtuvo respuestas productivas al riego, ya que los suelos eran de alta capacidad de almacenamiento de agua y muy arcillosos y suplieron las necesidades de agua, atenuando las condiciones de déficit hídrico de las plantas.

Cuantificar el agua disponible en el perfil de suelo en el inicio de floración para las plantas de frutales es importante, ya que sus raíces exploran muy profundo (1 m) (Allen *et al.*, 1998), y es el agua disponible de reserva para el inicio de la temporada de crecimiento. Por lo general en esta zona (sur de Uruguay) y en este momento (inicio de la primavera) los suelos están saturados y tienen en su perfil 130-170 mm de capacidad de almacenamiento de agua (Molfino y Califra, 2001). Esa cantidad representa aproximadamente un 25 % del consumo de agua total de un monte en la estación de crecimiento, si éste fuese de aproximadamente de 600 mm (García, 2003). En este sentido como se describió anteriormente en este trabajo, en 80 cm de los suelos del S1 y

S2 se almacenan 141 y 120 mm de agua disponible respectivamente. Para ser más consistente, los incrementos graduales de la humedad del suelo (Figura 1a y 1b) y potenciales xilemáticos (Figura 2) se relacionan a los aumentos de los niveles de riego que resultaron en mayores y graduales incrementos del crecimiento de las plantas y los frutos y menores déficit hídricos.

Con respecto al efecto de los tratamientos en la precocidad de cosecha, se visualizó en los dos primeros repases un incremento del porcentaje de frutos cosechados (Cuadro 5), lo que representaría un adelanto de la cosecha del orden de 22530 Kg ha⁻¹ y 39 g fruto⁻¹, si comparamos el tratamiento seco vs el tratamiento de mayor agua aplicada en el S1 (sitio regado a 100% ETC). En cambio el S2, riego restrictivo al 54% de la ETC a partir de diciembre (plena fase II del crecimiento del fruto), el adelanto de la cosecha solo significaría 2530 Kg ha⁻¹ y 17 g fruto⁻¹ (Cuadro 5).

Cuadro 4. Rendimiento total y precocidad de cosecha (repase 1, 2) según dosis de riego y nitrógeno (N), para los S1 y S2

Riego	mm ¹	Repase 1				Repase 2				Totales			
		Kg ha ⁻¹		G fruto ⁻¹		Kg ha ⁻¹		g fruto ⁻¹		Kg ha ⁻¹		g fruto ⁻¹	
†S.1	570	5685	‡a	156	a	23888	a	145	a	55454	a	143	a
S.1.	428	4651	a	148	a	20801	a	142	a	47399	a	133	a
S.1.	285	4624	a	135	ab	19712	a	140	a	45009	ab	137	a
S.1.	0	1187	b	109	b	5847	b	114	b	31930	b	109	b
S.2.	307	3686	a	176	a	7250	a	164	a	38441	a	157	a
S.2.	230	3853	a	168	a	5849	ab	154	a	35979	ab	151	a
S.2.	154	3394	ab	159	ab	4766	bc	144	a	33226	ab	145	a
S.2.	0	2141	b	126	b	2869	c	118	b	26947	b	123	b
Nitrógeno Kg N há ⁻¹													
S.1.	220	4722	a	143	a	20135	a	138	a	47634	a	136	a
S.1.	110	4335	a	140	a	17735	a	137	a	45646	a	129	a
S.1.	0	3938	a	137	a	18389	a	136	a	45490	a	133	a
S.2.	220	3800	a	172	a	6293	a	157	a	36560	a	156	a
S.2.	110	3591	a	158	ab	5265	ab	145	ab	34313	a	144	ab
S.2.	0	2829	a	153	b	4848	b	142	b	32474	a	140	b

† S.1.: Sitio 1. S.2.: Sitio 2. ‡ Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05) por test de Tukey.

Por otro, el N fertilizado no tuvo efecto en el rendimiento, y su efecto en el peso medio de los frutos no fue consistente, incrementándolo solo en el S2 (Cuadro 4., S2). Este último resultado coincide con Hipps (1997) que reportó incrementos del tamaño de frutas sin mejorar el rendimiento total con el agregado de N.

En el Cuadro 5 se presentan los modelos ajustado por Step Wise para las variables rendimiento y peso de frutos para los dos primeros repase de frutos (precocidad de cosecha) y para el total de frutos cosechados. En el rendimiento se observó un efecto principal del riego en ambos sitios; en el S1 se halló una respuesta cuadrática en el repase 2, y lineal en total de frutos cosechados, y para el S2 fue lineal en general. En la variable peso de frutos en el S1 existió un efecto del riego y del N en los dos primeros repases, con una respuesta cuadrática al factor riego para el total. En el S2 sólo se detecta un efecto del riego en el peso de fruto.

Cuadro 5. Rendimiento (Ren) y precocidad cosecha (repase 1, 2). Modelos ajustados por el proceso Step Wise entre el peso (PF) y rendimiento de fruto, para los factores riego y nitrógeno (N)

		Repase 1	Repase 2	Rendimiento Total
		Modelo Ajustado		
Sitio 1	Ren (kg ha ⁻¹)	$1080 + 19,11 * \text{riego} - 0,02 * \text{riego}^2$	$6243 + 54,59 * \text{riego} - 0,04 * \text{riego}^2$	$32362 + 39,68 * \text{riego}$
	PF (g)	$117 + 0,09 * \text{riego} - 1,9E-4 * N$	$116 + 0,13 * \text{riego} - 1,3E-4 * \text{riego}^2 - 0,04 * N$	$111 + 0,1 * \text{riego} - 7,9E-5 * \text{riego}^2$
Sitio 2	Ren (kg ha ⁻¹)	$2211 + 4,9 * \text{riego} + 3,48 * N$	$2744 + 14,07 * \text{riego}$	$27404 + 36,86 * \text{riego}$
	PF (g)	$131 + 0,16 * \text{riego}$	$120 + 0,15 * \text{riego}$	$126 + 0,1 * \text{riego}$
Procedimiento StepWise: Sle=0,15; Slo=0,15				

El número de frutas por planta definido por el raleo en pos cuajado fue similar y por esto el rendimiento varió en función del peso de los frutos. En el sitio 2 el N° fruta.pl-1 varió entre 116 a 104, no dependió de los tratamientos de riego o N. En el sitio 1 el N° frutas.pl-1 no dependió del N aplicado. Los tratamientos con riego llegaron a mayor promedio de N° frutas.pl-1 (143 frutas) que el tratamiento testigo (117 frutas) al momento de la cosecha. En el tratamiento testigo, el déficit hídrico pudo generar mayor caída de fruta pos cuajado. La figura 3 muestra el peso de los frutos en función del agua aplicada en ambos sitios. Para el S1 existió una respuesta cuadrática del peso de fruto en

función del agua aplicada, esto se explica ya que en éste se aplicó riego a 100% de la ETc. En cambio el S2 la respuesta fue lineal ya que el riego fue limitante y restrictivo al 54% de la ETc (figura 3). Estos incrementos productivos están asociados también a mayores niveles de la humedad en el suelo según incrementos de dosis de riego (Figura 1A y 1B).

A pesar de las diferencias de agua aplicada entre sitios, con las ecuaciones se describe que en ambos sitios el rendimiento se incrementó en casi 40 kg (39,68 y 36,86), y el peso de los frutos lo hizo en 0,1 g por cada mm de riego aplicado.

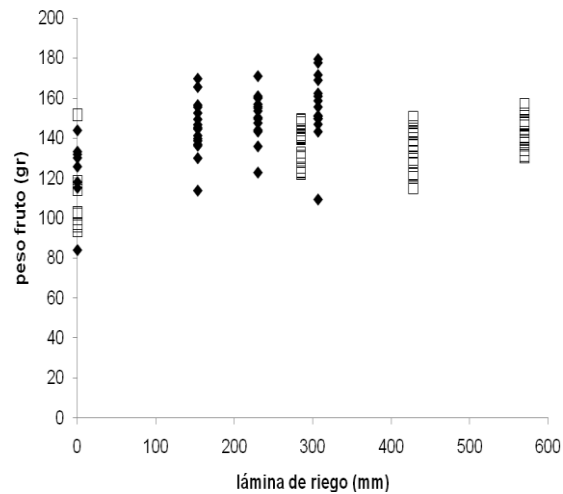


Figura 3. Relación entre el peso de fruto (g) y las láminas de riego aplicadas (mm). Regresiones peso fruto (g) y riego (mm): Rombos negros = S2 y cuadrados blancos = S1. Para sitio 2: $\text{Peso Fruto} = 0,102 x + 126,3$ ($R^2 = 0,34$); para sitio 1: $\text{Peso Fruto} = -8 \cdot 10^{-5} x^2 + 0,099 x + 110,6$ ($R^2 = 0,45$)

En la figura 4 se muestra y se confirma con el modelo step wise la relación entre el rendimiento final de frutos y los incrementos de riego en cada sitio. Se observa la existencia de una relación lineal directa positiva. Las respuestas no son cuadráticas en la variable peso de frutas en el caso de S2, en este caso no se alcanzó al límite máximo en el rendimiento de frutas con estas láminas de riego aplicadas.

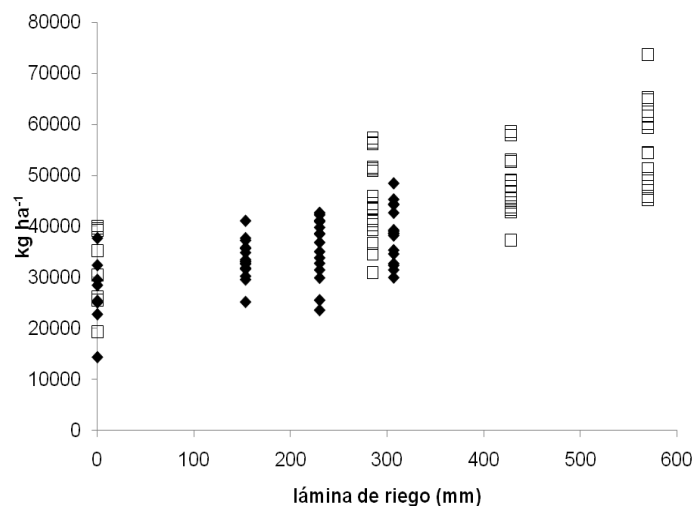


Figura 4. Relación entre el rendimiento de manzana (kg ha^{-1}) y las láminas de riego aplicado (mm). Referencias: Regresiones rendimiento de manzana (kg ha^{-1}) y riego (mm): Rombos negros = S2 y cuadrados blancos = S1. Para sitio 1: $\text{kg ha}^{-1} = 39,68 x + 32362$ ($R^2=0,49$); para el sitio 2: $36,86 x + 27404$ ($R^2=0,33$)

El N aplicado no incrementó significativamente el rendimiento, aunque el promedio el rendimientos en las plantas de los tratamientos de fertilización de 220 kg N ha^{-1} fue mayor que en las de los tratamientos sin fertilización, lo que implicaría un incremento de 3000 kg ha^{-1} . No se coincide con Malaguti *et al.* (2006); Weinbaum *et al.* (1992) que remarcan el efecto positivo en el incremento del rendimiento por los incrementos de las fertilizaciones nitrogenadas, aún en dosis menores (80 a 150 Kg N ha^{-1}). El no efecto del N aplicado en el rendimiento final de frutos es debidos a que contenidos de N foliares de todos los tratamientos presentaron valores altos y/o adecuados ($> 2,5\%$ de N en base seca) en comparación con los estándares internacionales, asociado a que los suelos tienen fertilidad alta (Cuadro 1) y además en el seguimiento. Por otro lado, el diámetro de fruto y peso con dosis altas de N (220 Kg ha^{-1}) se incrementó con respecto a tratamiento sin aplicación de N en el S2 (cuadro 3, cuadro 5), este efecto fue descripto también por Hipps (1997).

2.3.4. Evolución del diámetro ecuatorial de frutas

La evolución del diámetro ecuatorial de frutas promedio a lo largo de la temporada de crecimiento presentó diferencias entre tratamientos para los dos factores: riego y nitrógeno (Figura 5 y figura 6).

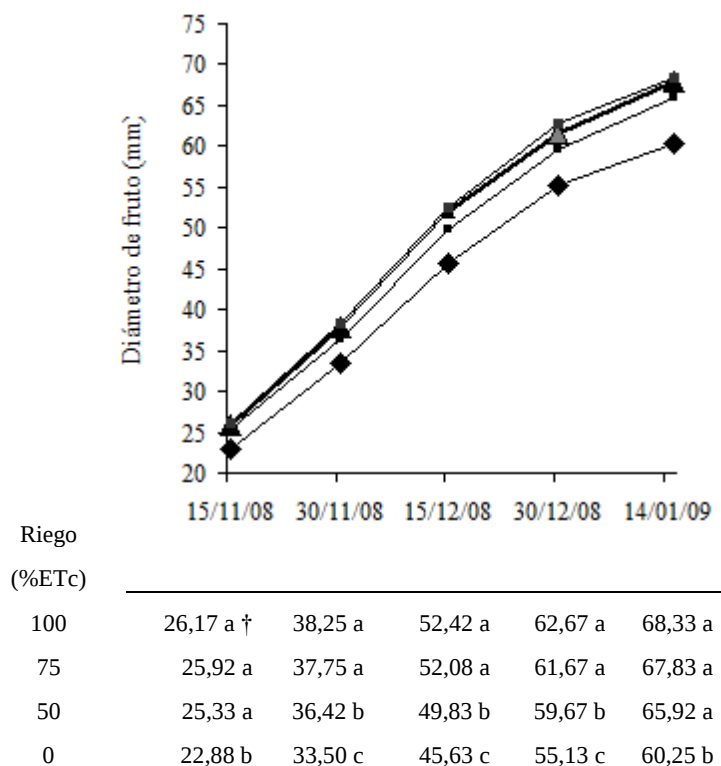
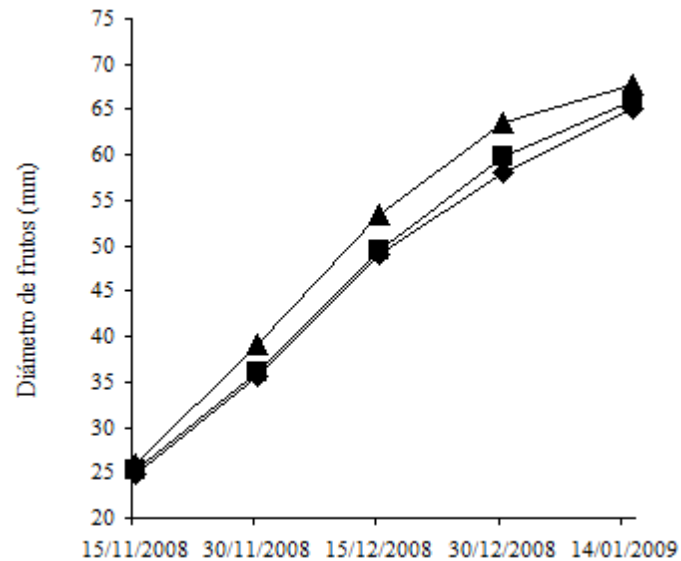


Figura 5. Evolución del diámetro de frutas en el tiempo, según dosis de riego aplicado en el S2. Referencias. Líneas con cruces dosis de riego 54 % ETC, líneas con triángulos dosis de riego a 40,5 % Etc., líneas con cuadrados chicos dosis 27 % ETC, líneas con cuadrados grandes sin riego. † Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por test de Tukey en cada fecha de medición.

Se observó un efecto significativo de la aplicación del agua de riego sobre el incremento del diámetro de los frutos. Estas diferencias se observaron y son consistentes cuando los frutos están en los periodos de rápido crecimiento (fechas 30/11/08-30/12/08, figura 5). Reportes de Irving y Drost (1987) adjudican los beneficios del riego en estas etapas de rápido crecimiento del fruto y consideran que si existen periodos de déficit

hídrico en esta etapa se afecta negativamente su crecimiento. A su vez estas evaluaciones se realizaron en el S2 que se restringió el riego a partir del mes de diciembre 2008 a un 56% de la ETc, que disminuyó las diferencias entre tratamiento de riego (fecha 15/12/09, Figura 5).



Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)					
220	25,92 a †	39,08 a	53,42 a	63,50 a	67,67 a
110	25,25 ab	36,13 b	49,56 b	59,81 b	65,94 ab
0	24,81 c	35,63 b	48,94 b	59,81 b	65,00 b

Figura 6. Evolución de los diámetros de frutas en el tiempo, según dosis de N aplicado el S2. Referencias: Líneas con triángulos dosis alta de fertilización 220 kg N ha⁻¹, líneas con cuadrados dosis medias 110 kg N ha⁻¹ de N y líneas con rombos sin aplicación de N. † Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por test de Tukey por fecha de medición.

Las curvas de crecimiento del diámetro de frutos para los diferentes tratamientos de aplicaciones de N siguen un patrón similar (Figura 6) y presentan en todas las fechas de evaluación diferencias entre tratamientos. Se observó para dosis altas de N valores de diámetro de frutos superiores, estos resultados concuerdan con el efecto positivo del N aplicado en esta variable y aún más si se aplica N en primavera (Sánchez, 1995).

En el cuadro 6 se muestra el diámetro de frutos final promedio según los incrementos de riego y nitrógeno aplicado. En este trabajo, las precipitaciones fueron menores a las medias históricas registradas en Uruguay en la estación de crecimiento del manzano, esta condición generó déficit hídrico que se traduce a respuestas significativas al agua aplicada, que a su vez en el S2 fue restrictiva en un 46%. Estos resultados son diferentes de los resultados de trabajos nacionales de García (2006); García *et al.* (2003) en los que, debido a las altas precipitaciones registradas se minimizaron los efectos del riego y no se hallaron incrementos en el diámetro y el rendimiento de frutos en respuesta diferentes manejos de riego.

Cuadro 6. Diámetro de frutos final promedio según riego y N aplicado en el S2

Riego (% ETc)	Diámetro (mm) †
54	71,53 a
40,5	70,20 a
27	69,13 a
0	62,69 b
Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	
220	70,97 a
110	68,34 b
0	67,88 b

† Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por test de Tukey.

Como se describió anteriormente el N aplicado no generó diferencias en las variables productivas, excepto el diámetro de fruto. Fertilizaciones más altas diferenciaron los diámetros mayores de frutos (Cuadro 6 y Figura 6). Esto concuerda con el trabajo de Hipps (1997) que argumenta el beneficio del N fertilizado en el incremento del diámetro ecuatorial de fruto. Pero este incremento del diámetro de frutos no acompasa el incremento de rendimiento final por hectárea (Cuadro 3). Si bien Weinbaum *et al.* (1992) remarca el efecto positivo en el incremento del rendimiento con incrementos de fertilización en este trabajo no se lograron, principalmente por los niveles altos de contenidos de N hoja en todos los tratamientos que no alcanzó ser un factor limitante en la producción.

2.3.5. Sección transversal del tronco y peso de poda invernal

Las variables del crecimiento vegetativo se incrementan con dosis altas de nitrógeno y de riego para los dos sitios. Se observaron diferencias significativas en el incremento relativo de la sección del tronco final. Esta diferencia se dio entre el secano y los tratamientos bajo riego (Cuadro 7) y ésta se debió al déficit hídrico que presentó el secano en todo el período comparado con los tratamientos regados. Estos resultados coinciden con los de Spangenberg *et al.* (1985), que evidenciaron un mayor crecimiento del tronco en el ensayo bajo riego, pero no encontraron diferencias significativas entre tratamientos regados.

Cuadro 7. Peso de rama promedio e incremento de sección transversal del tronco (STT)

Riego (% ETc)	Peso de rama (g)	% incremento STT
100	16,69 a †	12,63 a
75	11,58 b	12,05 a
50	10,15 b	10,45 a
0	6,21 c	2,27 b
Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)		
220	14,20 a	12,26 a
110	12,01 ab	9,89 ab
0	9,25 c	7,70 c

† Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por test de Tukey.

La variable peso medio de las ramas de poda fue más sensible al efecto del riego y del N aplicado que la variable sección transversal del tronco, y existió diferencias entre los tratamientos de riego y N aplicados (Cuadro 7). El crecimiento vegetativo se favoreció con dosis altas de riego y nitrógeno, y se relaciona a una mayor humedad del suelo (cercano a capacidad de campo, Figura 5 y 6) y a contenidos de N foliares superiores (datos no presentados). Similares resultados observaron Calcetto *et al.* (2007), logrando mayor crecimiento de tronco y poda invernal con la humedad del perfil del suelo más cercana a la capacidad de campo. También, Gómez (1996) en manzanos del cv. 'Royal Gala' verificó incrementos significativos en el crecimiento vegetativo con aumentos de

dosis de riego. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, las dosis altas de nitrógeno generaron incrementos significativos de la sección transversal del tronco y peso por rama (Cuadro 7) comparados con el tratamiento sin aplicación de N, lo que podría explicar la falta de respuesta en el rendimiento, de acuerdo a lo reportado por Hipps (1997) en cuanto a que el agregado de N, incrementa la concentración de N foliar, sin efectos importantes en el rendimiento, debido a un aumento del consumo de energía al incrementar el número y tamaño medio de brotes vegetativos. Éste se verifica con los resultados de este trabajo con el incremento del peso de poda y la no respuesta al N en el rendimiento de frutos, y también con altas contenidos de N en hoja que determinan condiciones de consumo de lujo del nutriente.

2.3.6. Calidad de frutas

En el cuadro 8 se presentan las relaciones entre los factores riego y N aplicado, y los variables de calidad de la fruta. El factor riego se correlaciona positivamente con las variables peso y volumen, y negativamente con la presión de pulpa. Esto se debe a que menores contenidos de humedad en el suelo debido a menores dosis de riego proporcionan mayor firmeza de pulpa y menor tamaño de frutas (Assaf *et al.*, 1975; Behboudian *et al.*, 1998; Bonany y Camps, 1998). También el factor nitrógeno se correlacionó positivamente con el peso y el volumen del fruto, en los dos sitios evaluados. Por un lado, en el S2 correlación negativa entre la presión de pulpa y el N aplicado, y el S1 se mantiene insensible en esta variable, ya que existe un efecto de dilución del N en la biomasa de las plantas por una mayor respuesta al riego. También se explica que el aumento en la dosis de N aplicado incrementó la concentración de N foliar y en el fruto (datos no presentados), y se relaciona positivamente al aumento de diámetro de frutos, y relaciona negativamente con la presión de frutas.

Se ha citado que el déficit hídrico incrementa de forma indirecta a la coloración roja de la fruta por la reducción del crecimiento vegetativo, que provoca mayor penetración de la luz directa en la canopia y los frutos (Naor *et al.*, 1997). Los resultados de este

trabajo no coinciden con este autor ya que el porcentaje de color rojo de las frutas no varió con el riego en los dos sitios. Esto implica que el sombreado de la fruta generado por el mayor crecimiento vegetativo del año inducido por el riego no afectó el porcentaje de sobrecolor del fruto (Cuadro 8).

Cuadro 8. Correlación de Pearson (Coeficientes \ probabilidades) entre el factor riego, fertilización y las variables de calidad peso, volumen, % de sobrecolor, presión de pulpa, densidad de frutas en postcosecha en los S1 y S2

Sitio 1							
	Peso	Volumen	% SobreColor	Presión pulpa	Densidad	Riego	Nitrógeno
Peso	1,00	0,00	0,24	0,00	0,51	0,0000***	0,02*
Volumen	0,95	1,00	0,82	0,00	0,00	0,0000***	0,05*
% SobreColor	0,08	0,02	1,00	0,34	0,02	0,1900	0,000088***
Presión pulpa	-0,42	-0,40	-0,06	1,00	0,75	0,0000***	0,0900
Densidad	0,04	-0,26	0,16	-0,02	1,00	0,78	0,56
Riego	0,57‡	0,54‡	0,09	-0,54†	0,02	1,00	0,14
Nitrógeno	0,15‡	0,13‡	0,26‡	0,11	0,04	0,10	1,00

Sitio 2							
	Peso	Volumen	% SobreColor	Presión pulpa	Densidad	Riego	Nitrógeno
Peso	1,00	0,00	0,65	0,08	0,13	0,000033***	0,00032***
Volumen	0,95	1,00	0,73	0,02	0,01	0,0000024***	0,00003***
% SobreColor	0,03	0,02	1,00	0,01	0,95	0,55	0,83
Presión pulpa	-0,12	-0,16	0,18	1,00	0,16	0,000000***	0,02*
Densidad	0,10	-0,19	0,00	0,10	1,00	0,1	0,05*
Riego	0,28‡	0,31‡	-0,04	-0,45†	-0,11†	1,00	0,17
Nitrógeno	0,24‡	0,28‡	-0,01	-0,15†	-0,13†	0,21	1,00

*, **, *** Indicadores de significancia: $p \leq 0,05$; 0,01; 0,001 probabilidad de error † Valores de correlaciones significativos negativos. ‡ Valores de correlaciones significativos positivos.

En el S2, con restricciones desde diciembre en la aplicación del riego no se observó respuesta del N en el porcentaje de color rojo del fruto. En cambio, en el S1 ambas variables se correlacionaron positivamente. Esto se explica por una respuesta vegetal mayor al N aplicado que desarrolló mejores condiciones de crecimiento y en equilibrio con el factor riego en el S1, por presentar éste, menor fertilidad de suelo inicial y un riego acorde a las demanda del cultivo, sin generar desequilibrio y excesos de vigor como reporta Holzapfel *et al.* (1995). Este resultado no coincide con el de Nielsen *et al.*

(2000) que no encontraron efecto o éste fue negativo sobre el desarrollo del color rojo al incrementar el N aplicado durante varios años de evaluación.

Por otro lado los SS disminuyeron con el aumento de riego por efecto de dilución, en cambio la AT se mantuvo insensible a la fertilización y al riego (Cuadro 9).

Cuadro 9. Correlación de Pearson (Coeficientes\probabilidades) entre el factor riego, fertilización, y las variables sólidos solubles y acidez titulable de frutos en postcosecha, para ambos sitios

	Riego	Fert. N	Sólidos Solubles	Acidez Titulable
Riego	1	0,17	4,20E-05***	0,36
† Fert. N	0,15	1	0,13	0,3
Sólidos Solubles	-0,44‡	-0,17	1	0,97
Acidez Titulable	-0,1	0,12	3,60E-03	1

† Fert. N: fertilización nitrogenada. *, **, *** Indicadores estadística de significancia: $p \leq 0,05$, 0,01, 0,001 niveles de confianza respectivamente. ‡ Valores de correlaciones significativos positivos.

Estos resultados concuerdan con los trabajos de Chauhan *et al.* (2005) que reportan incrementos de los sólidos solubles al disminuir el riego aplicado con respecto al 100% de la ETc. Coincide también condiciones de sequía o menores contenidos de humedad en el suelo proporcionan frutas más dulces o niveles superiores de SS (Assaf *et al.*, 1975; Behboudian *et al.*, 1998; Bonany y Camps, 1998).

2.4. CONCLUSIONES

No existió interacción significativa entre los factores riego y N para las variables productivas. El riego aumentó el rendimiento y calidad de la fruta en mayor grado que el nitrógeno.

El riego incrementó el rendimiento total en casi 40 kg ha⁻¹ e incrementó el peso de los frutos en 0,1 g por cada mm adicional aplicado. También incrementó significativamente el diámetro ecuatorial. El riego, además, disminuyó la presión de pulpa y los sólidos solubles.

El peso promedio de los brotes de poda, y STT aumentó por efecto del riego y el N.

El agregado de nitrógeno aumentó el diámetro ecuatorial de los frutos. No hubo un efecto significativo del N en los parámetros de calidad interno de fruta.

2.5. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G.R.; Pereira, S.L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 56).
- Assaf, R.; Levin, I.; Bravdo, B.A. 1975. Effect of irrigation regimes on trunk and fruit growth rates, quality and yield of apple trees. *Journal of Horticultural Science* 50: 481-493.
- Barros, F.B. 1998. Efecto del riego deficitario sobre el crecimiento vegetativo y el estado hídrico en manzano cultivar Scarlet. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 109 p.
- Behboudian, M.H.; Dixon, J.; Pothamshetty, K. 1998. Plant and fruit responses of lysimeter-grown 'Braeburn' apple to deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (6): 781-785.
- Bonany, J.; Camps, F. 1998. Effects of different irrigation levels on apple fruit. *Acta Horticulturae*. 406: 47-52.
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in solil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Calchetto, J.; Campi, P.; Guerino, G. 2007. Respuesta a la aplicación de diferentes dosis y épocas de riego sobre el crecimiento vegetativo del manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Chief. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
- Casero, T., Recasens, J., Xucla, F. 2003. Relaciones entre nutrientes en hoja, frutos y calidad de manzanas. *Fruticultura Profesional*. 139: 23-26.
- Chauhan, P.S; Sud, A; Sharma, L.K and Mankotia, M.S. 2005. Studies on the Effect of Micro-irrigation Level on Growth, Yield, fruit quality and Nutrient Assimilation of Delicious Apple. *Acta Horticulturae*. 696: 193-196.
- Cmelik Z., Tojnko and Unut, T. 2006. Fruit Quality of Fuji Apple as Affected by Crop Load and Rates of Nitrogen. *Acta Horticulturae*. 721: 147-151.
- Contepas, J. P. 1993. Drip irrigation in Loire Valley orchards (France): advantages and limits. *Acta Horticulturae*. 335: 449-454.

- Corsi, W. 1994. Programación del riego con informes de evaporación. In: Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Colonia, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no.26).
- Dragoni, D.; Lakso, A. N.; Piccioni, R. M. 2004. Transpiration of an apple orchard in a cool humid climate: measurement and modeling. *Acta Horticulturae*. 664: 175-180.
- Durán, A.; Califra, A.; Molfino, J.H.; Lynn W. 2005. Keys to soil taxonomy for Uruguay. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 p.
- García, C. 2006. Manejo de la Irrigación de cultivos de papa, pera y manzana en Uruguay. Tesis de Doctorado. Santa Maria, RS, Brasil. 116 p.
- García, M.; Puppo, L.; Romero, G.; Baccino, G. 2003. Respuesta al riego de duraznero, manzano y peral en montes comerciales. *Agrociencia*. 7 (2): 49-61.
- Gispert, J.R y Viladegut B. 2002. Comportamiento de dos variedades de manzano al estrés hídrico. *Fruticultura Profesional*. 131: 52-61.
- Gómez, J.P. 1996. Efecto de diferentes regimenes de riego sobre algunas relaciones agua-planta en manzano cultivar Royal Gala. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 91 p.
- Hipps, N. A. 1997. Effects of nitrogen, phosphorus, water and pre-planting soils sterilisation on growth and yield of Queen Cox/M9 apple trees *Acta Horticulturae*. 448: 125-131.
- Holzapfel, H.E.; Figueroa, G.G.; Venegas, V.A.; Matta, C.R.1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. *Agrociencia*. 11(1): 49-54.
- INIA (Instituto de Investigación Agropecuaria). 2012. GRAS Grupo Agroclima y sistemas de información. Canelones, Uruguay. Consultado el 30 de octubre de 2012. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/gras/>
- Irving, D. and Drost, J. 1987. Effects of water deficit and vegetative growth, fruit and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. *Journal of Horticultural Science*. 62(4): 427-432.
- Jackson M.L. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p
- Landsberg, J.; Jones, H. 1981. Apple orchards. In: Water deficit and plant growth. T.T. Kozlowski ed. New York, Academic Press. v. 6, pp. 419-469.
- Lieb, B., Caspari, H.W., Redulla, C., Andrews, P., Jabro, J. 2005. Partial rootzone drying and deficit irrigation of Fuji apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*. 24:85-99.

- Malaguti, D.; Rombolá, A.D.; Quartieri, M.; Lucchi, A.; Inderst, B.; Marangoni, B. and Tagliavini, M. 2006. Effects of the Rate of Nutrients by Fertigation and Broadcast. Application in 'Gala' and 'Fuji' Apple. *Acta Horticulturae*. 721 : 447-454.
- Mills, T.M.; Behboudian, M.H; Clothier, B.E. 1994. Plant water status and fruit quality in 'Braeburn' apple. *HortScience*. 29: 1274-1278.
- Molfino, J.H. y Califra A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay – Segunda aproximación. División Suelos y Aguas. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca . 12 p.
- Naor, A.; Klein, I.; Doron, I.; Gal, Y.; Ben-david, Z.; Bravdo, B. 1997. The effect of irrigation and crop load on stem water potential and apple fruit size. *Journal of Horticultural Science*. 72 (5): 765-7716
- Nelson, D.W. and Sommer L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis*, Part 2. American Society Agronomy, Madison, 539-579.
- Nielsen, D.; Nielsen, G.H.; and Hall, J. W 2000. Fruit mineral concentration and quality of "Gala" apples as affected by rate and timing of fertigated N. *Acta Horticulturae*. 512 : 159-167.
- Noe, N.; Eccher, D.; Porro, D. and Stainer, R. 1997. Quality of Golden Delicious apples as affected by season and by nitrogen and potassium mineral nutrition. *Acta Horticulturae*. 448: 487-497.
- Olsen, L.K., Scomer, A.H., Bartram. D.R. 1967. Segregation of 'Golden Delicious' apples for quality by light transmission. *American Society for Horticultural Science*. 91:821-828.
- Pola, A.C.; Petri, J.L.; Suzuli, A.; Mondardo, M. 1991. Riego en manzano. *Futicultura Profesional*. 48: 45-46.
- Puppo, L.; García, M. 2009. Estimación de los contenidos de tanque A para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona sur del Uruguay. *Agrociencia*. 13(2): 47-51.
- Richardt, L.A. (1949). Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*. 68:95-112.
- Sánchez, E.E. 1995. Nutrición Nitrogenada en Frutales de Pepita. In: *Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina)*. Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148: 339-346.
- Shackel, K. 2001. The use of midday stem water potential for irrigation scheduling and water stress diagnosis in prune and almond. *International Symposium Irrigation*

and Water Relations in Grapevines and Fruit Trees, 2001, Mendoza. Proceedings. Mendoza: ISHS. 2001. CD. Rom.

Spangenberg, L.A.; Gioia De Martin, O.; Calabrese, H.L. 1985. Efecto de diferentes manejos de suelo y la cobertura vegetal, en riego y secano sobre el régimen hídrico del suelo y la producción de manzanas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p.

Weinbaum, S.A., Johnson, R.C., Dejong, T.M. 1992. Causes and consequences of over fertilization in orchards. HortTechnology 2(1): 112-120.

3. CAMBIOS EN LAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN PLANTAS DE MANZANO CV GALA POR APLICACIÓN DE RIEGO Y NITRÓGENO²

RESUMEN

El objetivo fue cuantificar los cambios en las concentraciones de nutrientes en hoja y fruto provocados por la aplicación de diferentes láminas de riego y dosis de nitrógeno en árboles de manzano *Malus domestica* Borkh cv. ‘Gala’ durante la temporada 2008-09. El ensayo se realizó en dos montes (sitio 1 (S1) y 2 (S2)) de siete años de edad, implantados en alta densidad, sobre el portainjertos M9 en suelos franco-arcillo-limoso, Argiudol Típico. El diseño experimental fue parcela divididas con cuatro tratamientos de riego (parcela grande): testigo (sin irrigación), 50%, 75% y 100% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc); y tres dosis de fertilizaciones (parcela chica): 0, 110, 220 Kg N ha⁻¹. Se evaluó en la temporada de crecimiento la evolución de la humedad del suelo y de los contenidos de nutrientes en hoja y fruta de N, K, P, Ca, Mg y Zn, Mn, Cu, Fe. Desde pos-cuajado de frutos a caída de hoja el aumento del riego incrementó los contenidos de nutrientes foliares de N, Ca, Fe y Mg, y disminuyó el K y el Zn; la fertilización con N incrementó el contenido de N foliar. Según estándares nutricionales en muestreos de hojas en el mes de enero, los contenidos de N presentaron valores altos y algunos en exceso. El K presentó valores normales a altos y algunos deficientes. El P presentó valores normales a altos sin tener valores en exceso ni deficientes. Los contenidos de nutrientes cuantificados en pulpa de frutos de 2-3 cm de diámetro fueron más sensibles al efecto del riego y el N aplicado que en frutos maduros (cosechados); desde pos-cuajado (diámetro de 2-3 cm) hasta la cosecha disminuyó 53 % el N, 36% el Mg, 29% el P, 24% del K, y 13% del Ca. En frutos terminados el N aplicado aumentó principalmente el contenido de N en pulpa, y el riego incrementó el N y K.

Palabras claves: Fertilización, suelo, *Malus domestica*

² Este capítulo será enviado a la revista Agrociencia Uruguay para ser publicado como: Campi, P., García, C., García, M. Cambios en los contenidos de nutrientes en plantas de manzano cv. Gala por aplicación de riego y nitrógeno.

IRRIGATION AND NITROGEN FERTILISATION IN GALA APPLE TREES: EFFECTS ON MINERAL NUTRIENT STATUS.

SUMMARY

The aim of this study was to quantify the effect of irrigation and nitrogen fertilization on leaf and fruit nutrients accumulation of apple trees *Malus domestica* Borkh *cvar.* 'Gala'. The experiment was conducted during 2008-09 season in two high density planting orchards grafted on M9 rootstock. Plants were seven years old at the beginning of the experiment. The soil of both experimental sites was classified as Typic Argiudol. The experimental design consists of a split plot with four irrigation treatments (main plots): control (no irrigated), 50%, 75% and 100% of maximum crop evapotranspiration (ET_c), and four fertilization treatments (sub plots): 0, 110, 220 and 110 kg N/ha + 120 kg K/ha. During the growing season the evolution of soil moisture content, and leaf and fruit nutrient contents (N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, and Cu) were evaluated. From post-fruit set to leaf fall, increases of irrigation levels increased N, Ca, Fe and Mg, and decreased K and Zn leaf contents while increases in nitrogen fertilization increased leaf N content. According to apple trees nutritional standards, leaf samples taken during January 2009, showed N content values considered high or even in excess, P content from normal to high and even some samples shown an excessively low K content, in general samples showed K contents from normal to high. Quantified nutrient contents in pulp of fruits at post-fruit set (2-3 cm diameter) were more sensitive to the effect of irrigation and nitrogen fertilization than what was observed in mature fruits (harvested). From post-fruit set to harvest fruit N, Mg, P, K and Ca content decreased 53%, 36%, 29%, 24% and 13% respectively. At harvest only increases in pulp N contents in response to nitrogen fertilization and increases in N and K pulp contents in response to irrigation were detected.

Keywords: fertilization, soil, *Malus domestica*

3.1. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de déficit hídrico durante el crecimiento de frutos perjudica la absorción de nutrientes (Assaf *et al.*, 1974). Si la humedad del suelo no es adecuada, la nutrición de las plantas de manzano es deficiente (Carballo, 1995). Un equilibrio entre riego y fertilización, determina las condiciones favorables de crecimiento para evitar excesos de vigor, que conllevan a enfermedades y desórdenes fisiológicos y que afectan en forma significativa el rendimiento y la calidad final de los frutos (Holzapfel *et al.*, 1995). El riego repercute en los contenidos de nutrientes foliares y afecta la cantidad a fertilizar (Fernández, 1999). La cantidad de N a aplicar, así como los efectos que ejerce sobre los equilibrios nutricionales no se conocen con exactitud (Casero *et al.*, 2003).

En montes de manzano de alta densidad de plantación, usualmente se espera rendimientos de 50 t ha⁻¹, que resulta en una significativa salida neta de N y de K del monte (Malaguti *et al.*, 2006). El consumo de lujo de N favorece el gasto de energía por el aumento del número y tamaño medio de brotes vegetativos en detrimento de la producción de frutos (Hipps, 1997) y genera baja eficiencia productiva y excesos de contenidos de N en frutos, lo que es contraproducente para su calidad interna (Fallahi *et al.*, 1997).

En frutales el índice vegetativo descrito por Pijoan (1995) detalla la evolución en el tiempo de los nutrientes en el ciclo vegetativo de la planta, el N, K y P se definen de actividad activa y decrecen sus contenidos desde la floración a cosecha y el Ca, Mg de actividad pasiva, ya que aumentan.

El riego mejoró la movilidad de K en el suelo y aumentó el contenido en hoja (Malaguti *et al.*, 2006). Riegos a 100% de la ETc incrementaron los contenidos de K, Ca, Zn comparados con el control; el P, Mg y Fe se incrementaron con riegos a 100% de la ETc comparados a riegos con 80% de la ETc (Chauhan *et al.*, 2005). Por otro lado la concentración de N en hojas fue reducida el aumento de riego, debido al incremento del crecimiento de la planta y diluyó el N en la masa vegetal (Hipps, 1997); se contradice

con Chauhan *et al.* (2005) donde reportó un incremento del contenido de N por efecto del riego.

Incrementos de N fertilizado disminuyó el contenido en hoja de K y aumento el Mg (Fallahi *et al.*, 1997), también Ruiz (1986) verificó interacciones positivas con el Mg, Mn y negativas con el K, este último pasó a ser deficiente por la demanda que generó el aumento del rendimiento de frutos. Los contenidos de N se incrementan en hoja y en frutos por el incremento de N aplicado en plantas de manzano (Cmelik *et al.*, 2006, Nielsen *et al.*, 2000, Hipps, 1997, Ruiz 1986).

Los estándares minerales de hoja, flor y fruto son una herramienta de gran utilidad que permite diagnosticar y corregir de manera temprana los desbalances minerales (Mancera *et al.*, 2007). En este sentido el empleo del análisis foliar y la evaluación de la respuesta vegetal permitió la optimización la fertilización (Fernández, 1999). Sin embargo, los estándares reportados para el cultivo del manzano varían dependiendo del cultivar y de las condiciones de cultivo; se han citado niveles de N foliares (% de peso seco) de: 2,0-2,4 como rango óptimo y 2,5-3,0 como alto (Bright, 2005), así como Sánchez (1999) presentó un rango de niveles críticos de 2,0-2,4% al igual que Bright (2005), mientras que por otro lado Ruiz (1986) encontró que valores >1,9% son adecuados en el *cvar. Granny Smith* y >2,2 en el *cv. Richared*. El potasio presenta niveles críticos de 1,2-2,0% (Sánchez, 1999) y altos 1,6-2,0 % (Bright, 2005). Se ha visto que el máximo crecimiento y productividad ocurren cuando coinciden la concentración óptima de nutrientes y además también se da el balance optimo entre nutrientes (Faust y Shear, 1980).

Los nutrientes acumulados en los frutos en el momento de la cosecha, alcanzan valores altos de K y N y relativamente menores de Ca (Casero *et al.*, 1999). El potasio es el nutriente más abundante en el fruto (Giaquinta, 1983). Shear (1975) reporta que es posible almacenar manzana con una relación N/Ca de 10 en base a peso seco en la pulpa sin afectar su calidad. Si esta relación se incrementa a 30, la fruta sufrirá colapso senescente y se afectará su calidad. Se considera que altos niveles de N ó K en el árbol predisponen a los frutos desórdenes fisiológico (Ogawa y English, 1991).

Por todo lo mencionado el objetivo de este trabajo fue cuantificar los cambios en los contenidos de nutrientes en hoja y fruto generados por la aplicación de diferentes láminas de riego y niveles de fertilización nitrogenada en árboles de manzano *Malus domestica* Borkh cv. ‘Gala’.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Ubicación y diseño experimental

Los ensayos experimentales se realizaron en la localidad de Melilla Canelones, zona frutícola sur del Uruguay en dos montes comerciales “sitio 1(S1) y sitio 2 (S2)” de manzanos cv. ‘Gala’ (*Malus domestica* Borkh) de 7 años de edad. La densidad de plantación del S1 es 2105 plantas ha⁻¹ (3.8 m x 1,25 m) y el S2 de 2500 plantas ha⁻¹ (4 m x 1 m), conducidos ambos a líder central sobre el portainjertos M9. Los sitio del ensayo se seleccionó por menor variación de los diámetro de tronco de las plantas entre varios sitios, menores al 17% CV. El estado de plena flor correspondió con la fecha 8 de octubre del 2008 y el fin de cosecha el 23 de febrero del 2009. Se realizó un raleo temprano manual en poscujado antes de la inducción floral (tamaño de fruta 3 cm) y se definió un número de frutas promedio 130 frutos por árbol, este puede variar según tamaño de planta más menos 30 frutos.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en 4 bloques completos al azar, con cuatro tratamientos de riego (parcela principal): 50%, 75% y 100% de la ETc y un tratamiento testigo sin riego, y cuatro de fertilización: 0, 110, 220 y 110 Kg N ha⁻¹ +120 Kg K ha⁻¹. La unidad experimental fueron 5 plantas, donde se evaluaron las tres plantas centrales.

3.2.2. Suelo, clima y aplicación de agua y N

El suelo corresponde a un Argiudol Típico (Durán *et al.*, 2005). El análisis químico y textural del suelo se realizó de forma completo al comienzo del experimento para dos profundidades 0-20 y 20-40 cm. El contenido de Carbono (C) orgánico se determinó por digestión fría (Nelson y Sommers, 1982). La materia orgánica se estimó multiplicando el contenido de C orgánico por el factor 1,724. El potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se extrajeron con acetato de amonio y determinaron por fotometría de absorción atómica de acuerdo a Jackson (1964). El fósforo (P) fue determinado por la metodología propuesta por Bray y Kurtz (1945). El nitrógeno total por el método de Kjeldhal clásico por Brenner (1965).

Para el cálculo de las propiedades hídricas de cada sitio, se recolectaron seis muestras de suelo imperturbadas con cilindro de muestreo a cuatro diferentes profundidades: 20, 40, 60 y 80 cm. Luego estas muestras se colocaron en ollas a tensiones de 0,01; 0,03; 0,1; 0,5 y 1,5 MPa siguiendo la metodología descrita por Richardt (1949). Con estos datos se determinó las curvas de tensión humedad, contenidos de humedad del límite superior (LS, a tensión 0,01 MPa) y límite inferior (LI, a tensión 1.5 MPa), agua disponible (AD) y densidad aparente (Dap) para cada profundidad de suelo (Cuadro 1).

La estimación de la ETc se realizó por la evaporación diaria del tanque “A” (Eo), (Estación experimental INIA Las Brujas (EELB), 2008-09). Esta Eo fue corregida por un coeficiente de tanque promedio para los meses de noviembre a febrero $K_p=0,7$ (Corsi, 1994) para la EELB, este K_p -Corsi no difiere en su magnitud del coeficiente de tanque local promedio K_p único (0,71) para los meses de octubre a abril ajustado posteriormente por Puppo y García (2009). Con esta corrección se obtuvo la evapotranspiración de referencia (ETo). Posteriormente esta ETo se corrigió por el coeficiente de cultivo (K_c) mensual derivado de la metodología propuesta por FAO (Allen *et al.*, 1998) y así obtener la ETc.

La precipitación fue registrada en cada sitio mediante pluviómetro estándar. Para caracterizar el nivel de precipitaciones registradas mensuales en el periodo de evaluación en este ensayo, éstas se compararon con las medias mensuales históricas de precipitaciones de registros de la estación meteorológica de INIA Las Brujas (1973-2000). Con estos datos se realizó un cálculo de probabilidad de que se registre una precipitación igual o mayor a cierto valor con la fórmula: $P = n / (N + 1)$. Donde, P: Probabilidad de que ocurra un evento igual o mayor al considerado, n: Número de registros de una serie ordenada del evento considerado, N: Número total de registros en la serie.

El aporte de agua se realizó mediante emisores de flujo turbulento de diferentes caudales incorporados en una tubería de 16 mm de diámetro nominal. El inicio de riego fue el 15 y 1 noviembre 2008 para S1 y S2 respectivamente y el fin de riego fue el 23 de febrero coincidiendo con el fin de cosecha. El agregado de N se fraccionó en tres momentos: 40% de N en Otoño-poscosecha (04/03/08), 50% de N en primavera-cuajado (30/10/08) y 10% de N restante en precosecha junto con el K (10/12/08).

3.2.3. Variables evaluadas y análisis estadístico

Para los análisis de contenidos de los nutrientes foliares y en frutos se usó la metodología de Kjeldhal para cuantificar el N; y el resto de los macronutrientes (Ca, K, P, Mg) y micronutrientes (Mn, Zn, Cu) se utilizó la extracción por calcinación y medición de cenizas con espectrofotometría de absorción y emisión atómica. Los cambios en los contenidos de macronutrientes en hojas (N, Ca, K, P, Mg) y micronutrientes (Mn, Zn, Cu) se midieron en 5 momentos post-aplicación de N: post-cosecha (05/05/2008), cuajado (30/10/2008), crecimiento de fruto (10/12/2008), pre-cosecha (05/01/2009) y en pos-cosecha (05/04/2009). Para ello se tomaron al azar 25 hojas por parcela pesando en fresco y en seco. En fruta se cuantificaron los contenidos de nutrientes en 2 momentos: tamaño de fruto 2-3 cm diámetro y en cosecha.

Los efectos de los tratamientos se evaluaron por análisis de varianza. Los valores promedio de contenidos de nutrientes pre-cosecha de los tratamientos se compararon por test de Tukey ($p < 0,05$). Las variaciones de los contenidos de nutrientes en fruta y hoja se analizaron a través de modelos de regresión múltiple y se ajustaron coeficientes de regresión por la metodología Step Wise ($Sle = 0,15$ y $Slo = 0,15$). Para los análisis estadísticos se utilizó el software InfoStat.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Evapotranspiración del cultivo, agua aplicada y humedad en el suelo

Desde la floración a cosecha la ETc total fue de 572 mm y las precipitaciones fueron: 173mm (S1) y 201mm (S2). Este año fue de bajas precipitaciones e intensas radiaciones solares, por estas razones climáticas de sequía la fuente de agua fue afectada ya que se alimenta de aguas superficiales y el agua aplicada en el S2 resultó restrictiva en un 46% para todos los tratamientos de riego. En el S1 la fuente de agua no fue afectada y se aplicó agua (570 mm) en relación directa a la ETc estimada (cuadro 1).

Cuadro 1. Evapotranspiración del cultivo (ETc) y agua aplicada de riego según sitios

Tratamiento Riego	ETc	Agua aplicada	
		Sitio 1	Sitio 2
% ETc máxima		mm	
0	0	0	0
50	286	285	154
75	429	428	230
100	572	570	307

El verano fue severamente seco, en el que se registraron precipitaciones desde el 1 noviembre hasta mediados de febrero muy por debajo a las medias históricas, y los valores de probabilidad mensuales de ocurrencia iguales o mayores a las registradas en

el año de evaluación fueron elevadas (Cuadro 2). Estas variaciones de abundancia y distribución erráticas de las lluvias afectan el volumen de suelo mojado y la exploración radicular que hacen variar la tasa y cantidad de absorción de los nutrientes por el sistema radicular extenso de las plantas del manzano en el suelo (Allen, 1998). Esto se relaciona directamente con la asimilación de nutrientes por acelerar el aparato fotosintético (Fernández, 1999).

Cuadro 2. Caracterización climática: precipitaciones promedios en la zona, precipitaciones registradas en el año del ensayo y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones mensuales

Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
† PP promedios (mm)	106	80	93	108
PP (mm)	22	41	8	103
‡ Probabilidad PP (%)	87	65	90	34

† PP: Precipitaciones mensuales registradas en el ensayo; PP prom: Precipitaciones promedio mensuales históricas para la zona de "Las Brujas" 1973-2000; ‡ Probabilidad PP (%): Porcentajes de probabilidad de que ocurran precipitaciones iguales o mayores a las registradas en el año de evaluación.

En el cuadro 3 se presentan todas las propiedades químicas, física e hídricas del suelo. Los suelos de los S1 y S2 no difieren en sus propiedades hídricas, ellos almacenan aproximadamente 120 (S2) y 140 mm (S1) de agua disponible en 80cm de suelo (cuadro 3). Se coincide con Molfino y Califra (2001) donde argumentan que suelos fértiles (Brunosoles y Vertisoles) con elevada capacidad de retención de agua pueden superar los 120 a 170 mm de AD, dependiendo de su profundidad y grado de erosión. El S1 por su posición topográfica ladera alta y textura más arenosa presenta mayor riesgo de sequía a pesar de tener más capacidad de AD. El Sitio 2 presenta un mayor contenido de materia orgánica y de K que el sitio 1 por lo que podría asumirse que tiene mejores condiciones de fertilidad.

Cuadro 3. Propiedades químicas, físicas e hídricas de los suelo de los S1 y S2

Sitio 1					
Prof. (cm)	N-NO3 ($\mu\text{g N/g}$)	†MO	Arena %	Limo	Arcilla
0-20	3,7	1,8	21,4	43,4	35,1
20-40	3,2	1,9	22,6	42,5	34,9
	Ca	Mg	K	CICpH7	P($\mu\text{g P/g}$)
		meq 100g ⁻¹			
0-20	8,8	3,5	0,4	17,0	55,5
20-40	9,6	4,6	0,5	18,5	70,8
	LS	LI	AD	AD(mm)	DAP(g cm ⁻³)
		mm 10cm ⁻¹			
0-20	41,1	19,7	20,2	40,4	1,4
20-40	37,3	24,6	15,5	31,0	1,3
40-60	30,0	16,5	16,7	33,4	1,3
60-80	36,2	19,6	18,1	36,3	1,3
Sitio 2					
Prof. (cm)	N-NO3 ($\mu\text{g N/g}$)	MO	Arena %	Limo	Arcilla
0-20	3,2	2,3	16,8	48,0	35,2
20-40	2,5	2,0	18,1	49,4	32,5
	Ca	Mg	K	CIC pH 7	P($\mu\text{g P/g}$)
		meq 100g ⁻¹			
0-20	9,7	3,2	1,0	16,1	74,5
20-40	10,7	3,7	0,8	17,6	56,4
	LS	LI	AD	AD(mm)	DAP (g cm ⁻³)
		mm 10cm ⁻¹			
0-20	39,6	21,6	18,0	36,0	1,3
20-40	38,8	20,5	18,2	36,5	1,3
40-60	38,6	25,3	13,3	26,7	1,4
60-80	40,8	30,5	10,3	20,5	1,5

† Materia orgánica (MO), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), fósforo (P),
 Límite superior (LS), Límite inferior (LI), Agua Disponible (AD), Densidad Aparente (Dap)

La humedad en el suelo a 20 cm de profundidad fue diferente entre los tratamientos de riego, y siguen un patrón evolutivo similar en el tiempo. Asimismo, existió un incremento de la humedad en el suelo según las láminas incrementales de riego aplicadas (datos no presentados). En toda la estación de crecimiento el tratamiento sin riego presentó el menor rango de humedad en el suelo 12,6 - 20,18 mm por debajo del LI; contrario a este el tratamiento de 100% ETc mantuvo la humedad en un rango de

35,78 a 30,41mm, siendo este el más cercano al LS; los demás tratamientos presentaron resultados intermedios. Asimismo, midiendo la humedad del suelo en los primeros 20 cm permitió distinguir diferencias de los tratamientos de riego, al igual conclusión que llegaron Calcetto *et al.* (2007). En este sentido a mayores profundidades del suelo la humedad aumenta (Assaf *et al.*, 1975), minimizando diferencias de humedad entre los tratamientos de riego.

3.3.2. Contenidos de nutrientes en planta

3.3.2.1. Evolución en el tiempo, y efectos del riego y el N aplicado en los contenidos de nutrientes foliares

Los modelos ajustados por la rutina de Step Wise indican que existe efecto del nitrógeno aplicado (Kg N ha^{-1}), del riego (mm), del sitio ($S=1,2$), y el paso del tiempo (fechas de muestreos, unidad: días) en las variaciones de concentraciones de N, P y K (cuadro 4). La disminución del contenido foliar del N, P y K se modela con un efecto cuadrático del tiempo. Para el N y P ésta disminución es menor cuanto más fertilización y riego se aplica correspondiendo a una interacción negativa entre las tres variables Nitrógeno*Riego*tiempo (cuadro 4).

Cuadro 4. Modelos ajustado por Step wise para el cálculo de concentraciones foliares (%) de nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P)

Contenidos (%)	R ajustado	Modelo Ajustado por StepWise
N	0,63	$3,31-0,000017*\text{Días}^2+0,0017*\text{Nitrógeno}+0,26*S+0,00091*\text{Riego}-1,4\text{E}-0,8*\text{Nitrógeno}*\text{Riego}*\text{Días}$
P	0,62	$0,96+8,5\text{E}-06*\text{días}^2-0,01*\text{Días}+9,5\text{E}-05*\text{riego}+0,02*\text{Sitio}-1,3\text{E}-09*\text{Nitrógeno}*\text{Riego}*\text{Días}$
K	0,8	$5,82+0,000062*\text{Días}^2-0,04*\text{Días}+0,55*\text{Sitio}+0,0059*\text{Riego}$

Step Wise ($Sle = 0,15$ y $Slo = 0,15$). Efectos significativos: S: Sitio=1, Sitio=2, Nitrógeno: Kg ha^{-1} , Riego: mm de agua aplicada, Días (paso del tiempo: día 1 primer fecha de evaluación 30/10/2008 hasta la fecha 05/12/2009).

Para los dos sitios desde la primavera (brotación) de 2008 al otoño de 2009 (caída de hoja) descendieron las concentraciones de Cu, K, Mn, N y P foliar, y ascendieron los

contenidos de Ca, Fe y Mg (Cuadro 5, Figuras 1 y 2). Esta evolución de los contenidos en el tiempo fue descrita por Pijoan (1995) y detalla los índices vegetativos de los nutrientes en la planta, donde el N, K y P se definen de actividad activa, en la medida que su concentración decrece desde la floración hasta la cosecha, y el Ca y Mg de actividad pasiva, ya que aumentan durante el ciclo.

La fertilización con N disminuyó el descenso en las concentraciones de N foliar durante este período. El riego favoreció el aumento en los contenidos de Ca, Fe, y Mg y disminuyó también el descenso del N foliar (Cuadro 5). Esto coincide con resultados de Hipps (1997) que reportó que al aumentar el riego y el N, aumentan los contenidos de N foliar. Por otro lado, el aumento en las láminas de riego provocó menores valores de K y Zn foliar.

Cuadro 5. Efecto fecha de muestreo, riego y fertilización en las concentraciones foliares de nutrientes a través de los coeficientes de regresión

Nutriente	Período de comparación primavera 2008 – otoño 2009		
	Variable de regresión		
	Fecha	Fertilización	Riego
Ca	†0,01 **	-0,00007 ns	0,00028 **
Cu	-0,05 **	0,0026 **	0,00012 ns
Fe	0,34 **	-0,01 ns	0,05 **
K	-0,0012 **	0,000043 ns	-0,00035 **
Mg	0,001 **	0,00014 ns	0,00047 **
Mn	-0,45 **	-0,01 ns	-0,00055 ns
N	-0,01 **	0,001 **	0,00047 **
P	-0,00064 **	-0,000049 ns	-0,000012 ns
Zn	-0,07 ns	0,02 ns	-0,14 **

** Significativo al 0,05 de probabilidad de error. NS: no significativo.

† Valores: coeficientes de regresión.

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, las plantas del S1 en relación al S2 tienen menores concentraciones de nutrientes en las hojas, y responden en menor grado a los efectos del factor riego y nitrógeno, esto se explica por una menor fertilidad inicial en el suelo del S1 (Cuadro 1) y una distribución mayor de los nutrientes en la masa vegetal de las plantas del manzano. Estos resultados coinciden con Hipps (1997), quien encontró un efecto de dilución del N por incrementos de la masa vegetal en plantas de manzano por

efecto positivo del riego en el crecimiento del riego que desarrollo mayores crecimientos vegetales.

En los dos sitios se observa un aumento gradual de los contenidos de N, correlativo al aumento de las dosis de N aplicado en cada fecha de evaluación (Figura 1, y Cuadro 5). Este incremento fue descrito por varios autores (Cmelik *et al.*, 2006, Nielsen, D., *et al.* 2000, Hipps, 1997, Ruiz 1986).

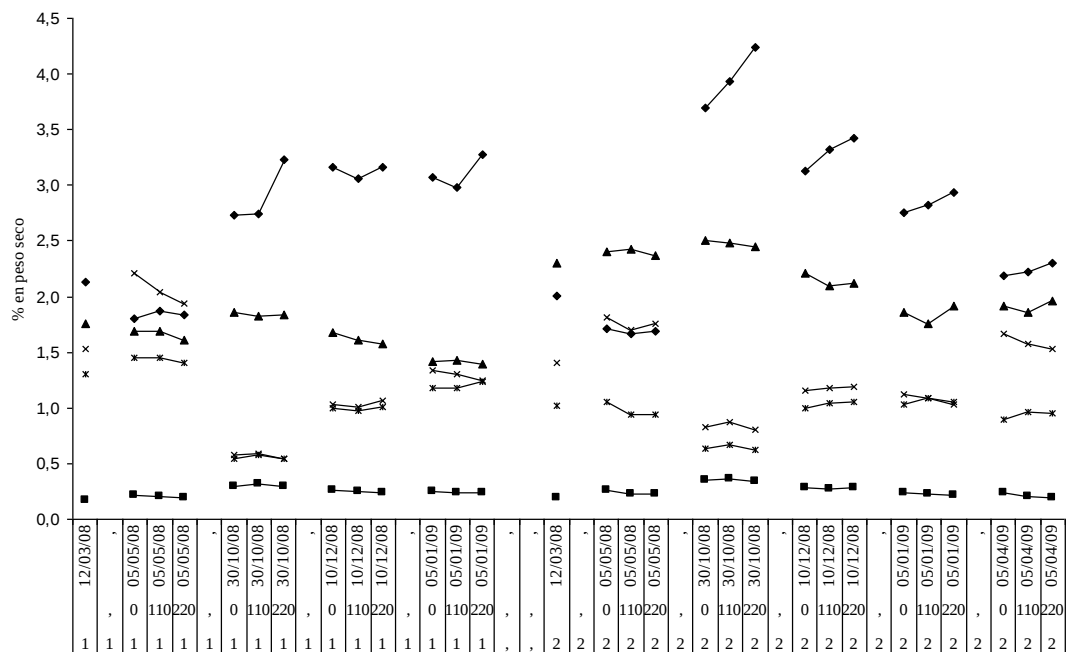


Figura 1. Evolución en el tiempo de los contenidos foliares de los macro-nutrientes según dosis de N aplicado en el sitio 1 y sitio 2. Fechas: dd/mm/aa. 0, 110, 220 dosis de N kg há⁻¹. 1 y 2: Sitios 1 y Sitio 2. Referencia: Líneas con rombos negros: contenidos de N. Líneas con cuadrados negros: contenidos de P. Líneas con triángulos negros: contenidos de K. Líneas con letra X simple: contenidos de Ca. Líneas con letra X doble: contenidos de Mg.

El aumento del agua aplicada en el S1 y el S2, incrementó los contenidos de nutrientes en hoja (Figura 2), ésto se asocia con lo observado por Assaf (1975) donde la ocurrencia de déficit hídrico durante el crecimiento de los frutos perjudica la absorción de nutrientes. Como se mencionó anteriormente los contenidos de N, Mg y Ca se incrementaron con el aumento de dosis de riego, coincidiendo con Chauhan *et al.*, (2005) (Figura 2).

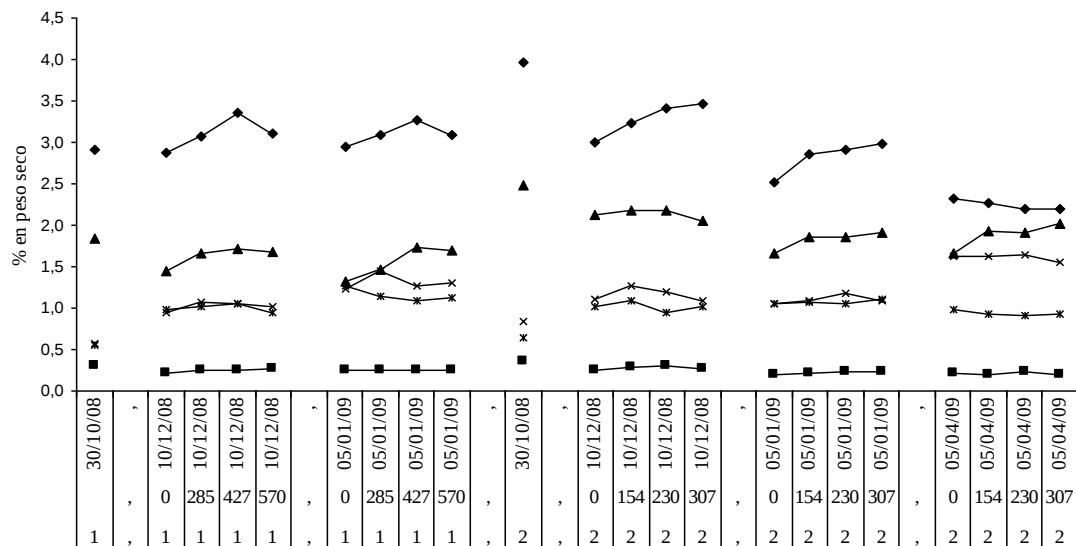


Figura 2. Evolución en el tiempo de los contenidos foliares de los macro-nutrientes en el tiempo según láminas de agua aplicada en el sitio 1 y el sitio 2. Fechas: dd/mm/aa. 0, 154, 230, 285, 427, 570 agua aplicada mm. 1 y 2: Sitios 1 y 2. Referencia: Líneas con rombos negros: contenidos de N. Líneas con cuadrados negros: contenidos de P. Líneas con triángulos negros: contenidos de K. Líneas con letra X simple: contenidos de Ca. Líneas con letra X doble: contenidos de Mg.

3.3.2.2. Concentraciones foliares en pre-cosecha, y comparación con estándares internacionales

El muestreo foliar realizado previo a la cosecha (05/01/2009) es un momento en el cual los nutrientes están en equilibrio y se encuentran más constantes, por esta razón se pueden comparar con estándares nutricionales internacionales en el cultivo del manzano (Bright, 2005; Sánchez, 1999). En el Cuadro 6 se presentan las concentraciones de los macronutrientes con respecto al efecto del riego; los tratamientos regados incrementaron los contenidos de N y se diferenciaron del tratamiento sin riego. Las plantas regadas presentaron valores altos de N, en el rango de 2,83 - 3,1 %, según los estándares internacionales. Sólo las plantas del tratamiento de riego de 75% de la ETc en el S1 presentaron niveles de exceso (3,10%). Las plantas sin riego presentaron menores

valores, en el rango de 2,51-2,66%, ubicándose en rangos de valores normales a altos (Bright, 2005) y dentro de los niveles críticos según Sánchez (1999).

Con respecto a los contenidos de K, en el S1 se observó incrementos significativos graduales de las concentraciones foliares al aumentar el agua aplicada, en menor grado se observa este mismo efecto en el S2. Estas diferencias entre sitios se explican por la restricción de agua y los altos contenidos de K en el S2 (Cuadro 1). En los dos sitios los rangos de contenidos de potasio fueron de 1,41 a 1,92% ubicándose dentro de los niveles normales a altos (Bright, 2005). Solo el tratamiento sin riego en el S1 presentó contenidos de K (1,25 %) cercanos a el valor crítico mínimo de 1,2% (Sánchez, 1999).

El P presentó niveles altos en las plantas de todos los tratamientos en ambos sitios, sin observarse excesos en este elemento (Bright, 2005). Las plantas de los tratamientos regados se diferenciaron y resultaron con mayores contenidos que las del tratamiento en seco únicamente en el S2 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Contenidos de nitrógeno(N), potasio (K) y fósforo (P) en precosecha según niveles del factor riego y nitrógeno en el S2

	N†	K	P
	-----%-----		
Sitio 2			
Riego (% ETc)			
100	2,96 a	1,92 a	0,24 a
75	2,90 a	1,87 a	0,23 ab
50	2,87 ab	1,84 a	0,22 ab
0	2,51 c	1,63 b	0,20 c
Fertilización (kg N ha ⁻¹)			
220	2,94 a	1,91 a	0,22 a
110	2,83 ab	1,75 a	0,22 a
0	2,76 c	1,85 a	0,23 a
Sitio 1			
Riego (% ETc)			
100	2,96 a	1,61 a	0,24 a
75	3,10 a	1,44 b	0,24 a
50	3,02 a	1,41 bc	0,24 a
0	2,66 b	1,25 c	0,24 a
Fertilización (kg N ha ⁻¹)			
220	3,04 a	1,39 a	0,24 b
110	2,98 a	1,43 a	0,24 b
0	3,07 a	1,42 a	0,25 a

† Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05) por test de Tukey.

En el S2 los contenidos de N aumentaron gradualmente con los incrementos de fertilización nitrogenada (Cuadro 6). Resultados similares encontraron Hipps (1997), Ruiz (1986) y Fallahi *et al.* (1997) en respuesta a la fertilización nitrogenada. Los contenidos de N son normales a altos (Cuadro 6) para todos los tratamientos comparados con los estándares nutricionales (Bright, 2005; Sánchez, 1999; Ruiz, 1986), por esto no se obtuvieron respuestas en el rendimiento de frutos (datos no presentados) ni concentraciones en exceso. La fertilización con N no diferenció los contenidos de K, P (Cuadro 6). Esto no coincide totalmente con Fallahi *et al.* (1997) y Ruiz (1986) que observaron disminuciones de los contenidos en hoja de K, pero sí en la falta de respuesta a los contenidos de P tras la aplicación de N. Por otro lado no hubo descenso del K por aumento del N aplicado probablemente a que no hubo aumentos de los rendimientos de fruta, o sea, no se incrementaron las extracciones de K para ser limitante su concentración. A esto también se le suma los niveles altos de este nutrientes en hoja comparado con los estándares internacionales (Bright, 2005; Sánchez, 1999).

3.3.2.3. Contenido de nutrientes en fruto

Los contenidos de nutrientes en frutos fueron afectados de similar forma que los contenidos foliares por el sitio de evaluación, el riego, el N fertilizado y las fechas de muestreo. Pero se encuentran cambios en sus proporciones y/o relaciones por ser un órgano diferente en la planta. En fruto, el K fue el nutriente mayoritario como lo expresado por Giaquinta (1983) seguido por N, Mg, P y por último el Ca reportado también por Casero *et al.* (1999).

En la Figura 3 se presentan los valores de los contenidos de N, P K, Ca y Mg relacionados al riego para los dos momentos de evaluación pos-cuajado (2-3 cm de diámetro de fruto) y en cosecha (tamaño de fruto final) para el S1 y S2.

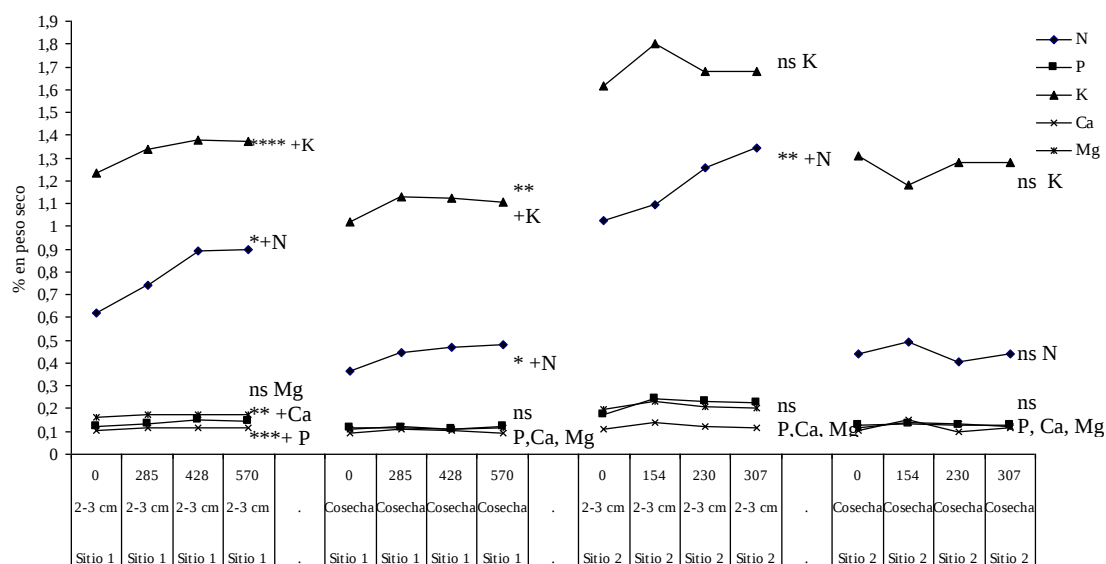


Figura 3. Contenido de macronutrientes en estado de frutos pos-cuajado (2-3cm diámetro) y en cosecha. *, **, ***, **** Indicadores estadística de significancia: $p \leq 0,1$, 0,05, 0,01, 0,001 probabilidades de errores, respectivamente. ns: no significativo. + Valores de correlaciones significativos - Valores de correlaciones significativos negativos. Referencia: Líneas con rombos negros: contenidos de N. Líneas con cuadrados negros: contenidos de P. Líneas con triángulos negros: contenidos de K. Líneas con letra X simple: contenidos de Ca. Líneas con letra X doble: contenidos de Mg.

En los dos sitios de evaluación las diferencias de los contenidos de nutrientes en fruto en el momento postcuajado (2-3 cm de diámetro de fruto) y en cosecha (tamaño de fruto final) radican en la disminuciones del N en un 53 %, del Mg en un 36%, y disminuciones menores 29% del P, 24% del K, y 13% del Ca (Figura 3). Los frutos provenientes del S2 tienen mayores contenidos de nutrientes en comparación con los del S1 en los dos estados de tamaño de frutos (2-3cm y en cosecha). Esta diferencia se debió básicamente a la mayor fertilidad inicial del suelo en el S2 (Cuadro 1) como también a un mayor efecto de concentración de nutrientes en las frutas debido a la limitante de riego (riego restrictivo a 54% de la ETc) que limitó los rendimientos de frutos. Lo descripto no concuerda con Hipps (1997) que reportó que el riego aumentó los rendimientos y diluyó los contenidos de N.

Por otro lado, en el S1 se correlaciona positivamente el riego aplicado con el aumento de N, P, K y Ca en frutos de 2-3cm de diámetro, vale aclarar que este sitio no tuvo limitante de riego como el S2. Luego este efecto disminuye y en la cosecha las correlaciones positivas se mantienen en los contenidos únicamente del N y K. Según Chauhan *et al.* (2005) el riego a 100% de ETc aumentó los contenidos de N, P, K y Ca foliares, esto se asemeja a lo sucedido en las variaciones de nutrientes en frutas de 2-3 cm. En el sitio 2 en los dos momentos de evaluación en pos-cuajado y en cosecha no existió efecto del riego en los contenidos nutrientes, excepto del N que se correlacionó positivamente con el riego para el momento pos-cuajado debido a que en estos momentos se estaba regando normalmente sin limitante de agua.

En el Cuadro 7 se observan los valores de las correlaciones significativas positivas y negativas entre los contenidos de macronutrientes N, P, K en cosecha de frutos y el factor riego o el factor fertilización con N.

Cuadro 7. Correlación entre el factor riego, fertilización y contenidos de nutrientes para contenidos de nutrientes de fruta (cosecha final) en S1 y S2

Sitio 1					
	Riego	Fert. N	N	P	K
Riego	1	0,11	0,02**	0,95	0,09*
Fert. N	0,31	1	0,05**	1	0,09*
N	0,43†	0,36†	1	0,02**	0,00009*****
P	-0,01	0,00032	0,44†	1	0,000034*****
K	0,32†	0,32†	0,66†	0,69†	1
Sitio 2					
	Riego	Fert. N	N	P	K
Riego	1	0,39	0,99	0,96	0,49
Fert. N	0,26	1	0,02*	0,03*	0,08
N	-0,0031	0,62†	1	0,62	0,92
P	-0,01	-0,61‡	-0,15	1	0,14
K	-0,21	-0,5	0,03	0,43	1

*, **, ***, ***** Indicadores de significancia, $p < 0,1$; 0,05; 0,01; 0,001 respectivamente (probabilidad de error). † Valores de correlaciones significativos positivos. ‡ Valores de correlaciones significativos negativos. Fert. N: fertilizaciones con N.

Los incrementos de N aplicado correlacionaron positivamente con las concentraciones foliares de N y K en el S1. En el S2 la correlación fue positiva con las concentraciones de N, y negativa con el P. Este efecto sobre el P fue observado por Cmelik *et al.* (2006) quienes determinaron una disminución del P en frutas cuando se incrementó el nitrógeno fertilizado. Asimismo, estudiando la relación N/Ca, ésta no superó el valor 10 en la totalidad de frutos cosechados de los diferentes tratamientos, y se encuentra dentro de los límites aceptables mencionados por Shear (1975), quien reporta que con una relación N/Ca de 10 en base a peso seco en la pulpa de la manzana, ésta no sufre ‘bitter pit’ en pos-cosecha. Por otro se considera que altos niveles de N ó K en el árbol predisponen a los frutos a este desorden (Ogawa y English, 1991), pero en este trabajo los niveles de estos nutrientes no alcanzaron umbrales que puedan asociarse al daño en fruta, si bien se aplicaron dosis de 220 kg de N há^{-1} , que resultaron con los mayores contenidos de N foliar y en fruto.

3.4. CONCLUSIONES

Existieron cambios en los contenidos de nutrientes en hoja y fruta por el efecto de la fecha de muestreo, del sitio de evaluación, del riego y del N aplicado.

El riego favoreció el aumento en los contenidos de Ca, Fe, Mg y N foliar, y disminuyó el K y Zn en toda la temporada. La fertilización con N aumento los contenidos de N foliar.

Las concentraciones de N foliar presentaron valores altos en todos los tratamientos y en exceso > a 3%. El K presentó valores normales a altos de 1,41 a 1,92% con deficiencias en el tratamiento secano. El P presentó valores a normales a altos de 0,2 a 0,25%.

Los contenidos de los macronutrientes en frutos disminuyen desde el momento pos-cuajado (2-3 cm de diámetro de fruto) a cosecha (tamaño de fruto final) excepto el Ca, y este descenso es contrarrestado con el incremento del riego.

Los contenidos de nutrientes cuantificados en pulpa de frutos de 2-3 cm de diámetro demostraron ser un indicador más sensible y preciso para detectar los cambios generados por los factores riego y N aplicados.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G.R.; Pereira, S.L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 56).
- Assaf, R.; Levin, I.; Bravdo, B.A. 1975. Effect of irrigation regimes on trunk and fruit growth rates, quality and yield of apple trees. *Journal of Horticultural Science* 50: 481-493.
- Assaf, R.; Bravdo, B.; Levin, I. 1974. Effects of irrigation according to water deficit in two different soil layers, on the yield and growth of apple trees. *Journal of the Horticultural Science*. 49:53-64.
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in solil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Bright, J. 2005. Apple and pear nutrition. District Horticulturist Intensive Industries Development, Orange Agricultural Institute. Primefact 85. 12 p. Disponible en: <http://ucanr.org/sites/nm/files/76700.pdf>.
- Calcetto, J.; Campi, P.; Guerino, G. 2007. Respuesta a la aplicación de diferentes dosis y épocas de riego sobre el crecimiento vegetativo del manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Chief. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
- Carballo, S. 1995. Fertirrigación. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Casero, T., Recasens, I., Xucla, F. 2003. Relaciones entre nutrientes en hoja, frutos y calidad de manzanas. *Fruticultura Profesional*. 139: 23-26.
- Casero, T.; Recasens I.; CarrascoV.; Xucla F. 1999. Dinámica de acumulación de nutrientes en manzana. Area de Postcollita. CeRTA. Universitat de Lleida-IRTA Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 14(3): 465-473
- Chauhan, P.S; Sud, A; Sharma, L.K and Mankotia, M.S. 2005. Studies on the Effect of Micro-irrigation Level on Growth, Yield, fruit quality and Nutrient Assimilation of Delicious Apple. *Acta Horticulturae*. 696: 193-196.

- Cmelik, Z., Tojanko and Unut, T. 2006. Fruit Quality of Fuji Apple as Affected by Crop Load and Rates of Nitrogen. *Acta Horticulturae*. 721: 147-151.
- Corsi, W. 1994. Programación del riego con informes de evaporación. In: Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Colonia, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no.26).
- Durán, A.; Califra, A.; Molfino, J.H.; Lynn W. 2005. Keys to soil taxonomy for Uruguay. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 p.
- Fallahi, E., Conway, W.S, Hickey, K.D., Sams, C.E., 1997. The role of calcium y nitrogen in post harvest quality and disease resistance of apple. *Hortscience* 32(5): 831-835.
- Faust, M. and Shear C.B., 1980. Nutritional ranges in deciduous fruit tree and nuts. *Horticultural Review* 3(2):142-163.
- Fernández R. 1999. Estrategias para un abonado racional de los árboles frutales. *Fruticultura Profesional*. 107: 8-16.
- Giaquinta, R.T. 1983. Phleom loading of sucrose. *Annual Reveu. Plant P hysiology*. 34: 347-387
- Hipps, N.A. 1997. Effects of nitrogen, phosphorus, water and pre-planting soils sterilisation on growth and yield of Queen Cox/M9 apple trees *Acta Horticulturae*. 448: 125-131.
- Holzapfel, H.E.; Figueroa, G.G.; Venegas, V.A.; Matta, C.R.1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. *Agro Ciencia*. 11(1): 49-54.
- INIA (Instituto de Investigación Agropecuaria). 2012. GRAS Grupo Agroclima y sistemas de información. Canelones, Uruguay. Consultado el 30 de octubre de l 2012. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/gras/>
- Jackson M.L. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p
- Malaguti, D.; Rombolá, A.D.; Quartieri, M.; Lucchi, A.; Inderst, B.; Marangoni, B. and Tagliavini, M. 2006. Effects of the Rate of Nutrients by Fertigation and Broadcast. Application in 'Gala' and 'Fuji' Apple. *Acta Horticulturae*. 721 : 447-454.
- Mancera, M.; Sotto, J.M., Sánchez, E., Yáñez, R.M., Montes, F., Balandrán, R.R. 2007. Calidad y capacidad de conservación de frutos de manzana en postcosecha. Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. *Tecnociencia Chihuahua*. 2(1): 6-17. Disponible en: <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n2/data/manzana.pdf>

- Molfino, J.H. y Califra A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay – Segunda aproximación. División Suelos y Aguas. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. 12 p.
- Nelson, D.W. and Sommer L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis*, Part 2. American Society Agronomy, Madison, 539-579.
- Nielsen, D.;Nielsen, G.H.; and Hall, J.W 2000. Fruit mineral concentration and quality of “Gala” apples as affected by rate and timing of fertigated N. *Acta Horticulturae*. 512 : 159-167.
- Ogawa, M., and English, J. 1991. Apple quality as related to nitrógeno and phosphorus nutrition. *Journal. Plant Nutrition* 17 (6): 1005-1015.
- Pijoan, J.P. 1995. Nitrofisiología-Fisiología de la Nutrición1995. In: *Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición* (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Puppo, L.; García, M. 2009. Estimación de los contenidos de tanque A para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en al zona sur del Uruguay. *Agrociencia*. 13(2): 47-51.
- Richardt, L.A. (1949). Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci*. 68:95-112.
- Ruiz, 1986. Fertilización nitrogenada en manzano. II niveles foliares extracción de nutrientes y eficiencia de uso de nitrógeno. *Agricultura Técnica* 46(3): 314-321. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR26928.pdf>
- Sánchez E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed). *Estación Experimental Alto Valle de Rio negro*. Macrorregion Patagonia.
- Shear, C.B., 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10(4): 361-365.

4. CONCLUSIONES GLOBALES

El monitoreo de la humedad del suelo en los primeros 20 cm permitió distinguir diferencias en los tratamientos de riego en relación a diferentes respuestas productivas y vegetativas. Cuantificar el agua disponible en el perfil del suelo al inicio de la floración y el estudio de la probabilidad y registro de las precipitaciones desde la floración a cosecha son dos medidas primordiales en el manejo del riego en el cultivo del manzano.

No existió interacción significativa entre el factor riego y N en función a las variables productivas. El peso promedio de los brotes de poda, y sección transversal del tronco aumentó por efecto del riego y del N. El riego aumentó el rendimiento y calidad de la fruta en mayor grado que el nitrógeno.

El riego incrementó el rendimiento total en casi 40 kg ha⁻¹ e incrementó el peso de los frutos en 0,1 g por cada mm adicional aplicado. También aumentó significativamente la variable diámetro ecuatorial. Todos estos incrementos están asociados a mayores niveles de la humedad en el suelo. El riego, además, disminuyó la presión de pulpa y los sólidos solubles.

El factor nitrógeno afectó el diámetro ecuatorial de los frutos. No hubo un efecto significativo del N en los parámetros de calidad interna de la fruta.

Según los estándares nutricionales internacionales, en todos los tratamientos de riego y fertilización nitrogenada las concentraciones de N foliar presentaron valores altos en todos los tratamientos y en exceso > a 3%. El K presentó valores normales a altos de 1,41 a 1,92% y deficiencias en el tratamiento seco. El P presentó valores a normales a altos de 0,2 a 0,25%.

Los contenidos de todos los macronutrientes en frutos (excepto el Ca) disminuyen desde el momento pos-cuajado (2-3 cm de diámetro de fruto) hasta cosecha (tamaño de fruto final) y este descenso se disminuye por el efecto del riego. Los contenidos de nutrientes cuantificados en pulpa de frutos de 2-3 cm de diámetro demostraron ser un indicador sensible para detectar los cambios generados por los factores riego y N aplicados.

5. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Allen, G.R.; Pereira, S.L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 56).
- Assaf, R.; Levin, I.; Bravdo, B.A. 1975. Effect of irrigation regimes on trunk and fruit growth rates, quality and yield of apple trees. *Journal of Horticultural Science* 50: 481-493.
- Assaf, R.; Bravdo, B.; Levin, I. 1974. Effects of irrigation according to water deficit in two different soil layers, on the yield and growth of apple trees. *Journal of the Horticultural Science*. 49:53-64.
- Barros, F.B. 1998. Efecto del riego deficitario sobre el crecimiento vegetativo y el estado hídrico en manzano cultivar Scarlet. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 109 p.
- Behboudian, M.H.; Dixon, J.; Pothamshetty, K. 1998. Plant and fruit responses of lysimeter-grown 'Braeburn' apple to deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (6): 781-785.
- Beukes, D. J.; Weber, H. W. 1982. The effects of irrigation at different soil water levels on the water use characteristics of apple trees. *Journal of Horticultural Science*, 57: 383-391.
- Bonany, J.; Camps, F. 1998. Effects of different irrigation levels on apple fruit. *Acta Horticulturae*. 406: 47-52.
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in solil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Bright, J. 2005. Apple and pear nutrition. District Horticulturist Intensive Industries Development, Orange Agricultural Institute. Primefact 85. 12 p. Disponible en: <http://ucanr.org/sites/nm/files/76700.pdf>.
- Calchetto, J.; Campi, P.; Guerino, G. 2007. Respuesta a la aplicación de diferentes dosis y épocas de riego sobre el crecimiento vegetativo del manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Chief. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
- Carballo, S. 1995. Fertirrigación. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Casero, T., Recasens, ., Xucla. F. 2003. Relaciones entre nutrientes en hoja, frutos y calidad de manzanas. *Fruticultura Profesional*. 139: 23-26.

- Casero, T.; Recasens I.; Carrasco, V.; Xucla F. 1999. Dinámica de acumulación de nutrientes en manzana. Area de Postcollita. CeRTA. Universitat de Lleida-IRTA Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 14 (3): 465-473.
- Chauhan, P.S; Sud, A; Sharma, L.K and Mankotia, M.S. 2005. Studies on the Effect of Micro-irrigation Level on Growth, Yield, fruit quality and Nutrient Assimilation of Delicious Apple. *Acta Horticulturae*. 696: 193-196.
- Childers, N.F. 1982. *Fruticultura moderna; cultivo de frutales y arbustos*. Montevideo, Hemisferio Sur. 457 p.
- Cline J.A., Hanson E.J., Bramlage W.J, Cline R.A., Kushad M., 1991. Calcium accumulation in delicious apple fruit. *Journal Plant Nutrition*. 14 (11): 1213-1222.
- Cmelik, Z., Tojanko and Unut, T. 2006. Fruit Quality of Fuji Apple as Affected by Crop Load and Rates of Nitrogen. *Acta Horticulturae*. 721: 147-151.
- Contepas, J. P. 1993. Drip irrigation in Loire Valley orchards (France): advantages and limits. *Acta Horticulturae*. 335: 449-454.
- Corsi, W. 1994. Programación del riego con informes de evaporación. In: Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Colonia, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no.26).
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2012. Encuesta frutícola; zafra 2011-2012. Serie de encuesta N° 308. Consultado 15 de agosto 2013. Montevideo. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-pub-frutas-y-hortalizas,O,es,0>,
- Doorenbos, J. Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 36).
- Dragoni, D.; Lakso, A. N.; Piccioni, R. M. 2004. Transpiration of an apple orchard in a cool humid climate: measurement and modeling. *Acta Horticulturae*. 664: 175-180.
- Durán, A.; Califra, A.; Molfino, J.H.; Lynn W. 2005. Keys to soil taxonomy for Uruguay. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 p.
- Durán, A.; García, F.; Labella, S. 1992. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.
- Fallahi, E., Conway, W.S, Hickey, K.D., Sams, C.E., 1997. The role of calcium y nitrogen in post harvest quality and disease resistance of apple. *Hortscience* 32(5): 831-835.
- Faust, M. and Shear, C.B., 1980. Nutritional ranges in deciduous fruit tree and nuts. *Horticultural Review* 3(2):142-163.

- Fernández R. 1999. Estrategias para un abonado racional de los árboles frutales. *Fruticultura Profesional*. 107: 8-16.
- Forshey, C.G.; Weires, R.W.; Stanley, B.H.; Seem, R.C. 1983. Dry weight partitioning of McIntosh apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 108: 149-154.
- García, C. 2006. Manejo de la Irrigación de cultivos de papa, pera y manzana en Uruguay. Tesis de Doctorado. Santa Maria, RS, Brasil. 116 p.
- García, F. 1984. El agua en el suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 106 p.
- García, M.; Puppo, L.; Romero, G.; Baccino, G. 2003. Respuesta al riego de duraznero, manzano y peral en montes comerciales. *Agrociencia*. 7 (2): 49-61.
- García, M. 2000. Comparación del fertiriego con la fertilización convencional nitrogenada en naranja "Valencia". *Agrociencia*. 4 (1): 23-30.
- Giaquinta, R.T. 1983. Phleom loading of sucrose. *Annual Reveu. Plant P hysiology*. 34: 347-387
- Gispert, J.R y Viladegut B. 2002. Comportamiento de dos variedades de manzano al estrés hídrico. *Fruticultura Profesional*. 131: 52-61.
- Gómez P. 1996. Efecto de diferentes regimenes de riego sobre algunas relaciones agua-planta en manzano cultivar Royal Gala. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 91p.
- Hewett, E.W. 1976. Irrigation of apple trees in Nelson. *Journal of Agricultural Research (New Zealand)*. 19: 505-511.
- Hipps, N.A. 1997. Effects of nitrogen, phosphorus, water and pre-planting soils sterilisation on growth and yield of Queen Cox/M9 apple trees *Acta Horticulturae*. 448: 125-131.
- Holzapfel, H.E.; Figueroa, G.G.; Venegas, V.A.; Matta, C.R.1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. *Agrociencia*. 11(1): 49-54.
- INIA (Instituto de Investigación Agropecuaria). 2012. GRAS Grupo Agroclima y sistemas de información. Canelones, Uruguay. Consultado el 30 de octubre de 2012. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/gras/>
- Irving, D. and Drost, J. 1987. Effects of water deficit and vegetative growth, fruit and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. *Journal of Horticultural Science*. 62(4): 427-432.
- Jackson M.L. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p
- Khemira, H. 1995. Nitrogen cycling and partitioning in field grown apple and pear trees. Thesis. Oregon State University, USA. 136. Disponible in:

<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/25692/KHEMIRAHABIB1996.pdf?sequence=1>

- Landsberg, J.; Jones, H. 1981. Apple orchards. In: Water deficit and plant growth. T.T. Kozlowski ed. New York, Academic Press. v. 6, pp. 419-469.
- Lieb, B., Caspari, H.W., Redulla, C., Andrews, P., Jabro, J. 2005. Partial rootzone drying and deficit irrigation of Fuji apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*. 24:85-99.
- Lötter, L. de V.; Beukes, D.J.; Weber, H.W. 1985. Growth and quality of apples as affected by different irrigation treatments. *Journal of Horticultural Science*. 60: 181-192.
- Malaguti, D.; Rombolá, A.D.; Quartieri, M.; Lucchi, A.; Inderst, B.; Marangoni, B. and Tagliavini, M. 2006. Effects of the Rate of Nutrients by Fertigation and Broadcast. Application in 'Gala' and 'Fuji' Apple. *Acta Horticulturae*. 721 : 447-454.
- Mancera, M.; Sotto, J.M., Sánchez, E., Yáñez, R.M., Montes, F., Balandrán, R.R. 2007. Calidad y capacidad de conservación de frutos de manzana en postcosecha. Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. *Tecnociencia Chihuahua*. 2(1): 6-17. Disponible en: <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n2/data/manzana.pdf>
- Mills, T.M.; Behboudian, M.H; Clothier, B.E. 1994. Plant water status and fruit quality in 'Braeburn' apple. *HortScience*. 29: 1274-1278.
- Molfino, J.H. y Califra A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay – Segunda aproximación. División Suelos y Aguas. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. 12 p.
- Naor, A.; Klein, I.; Doron, I.; Gal, Y.; Ben-david, Z.; Bravdo, B. 1997. The effect of irrigation and crop load on stem water potential and apple fruit size. *Journal of Horticultural Science*. 72 (5): 765-771.
- Nelson, D.W. and Sommer L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society Agronomy, Madison, 539-579.
- Nielsen, D.;Nielsen, G.H.; and Hall, J.W 2000. Fruit mineral concentration and quality of "Gala" apples as affected by rate and timing of fertigated N. *Acta Horticulturae*. 512 : 159-167.
- Noe, N.; Eccher, D.; Porro, D.; Stainer, R. 1997. Quality of Golden Delicious apples as affected by season and by nitrogen and potassium mineral nutrition. *Acta Horticulturae*. 448: 487-497.
- Ogawa, M., and English, J. 1991. Apple quality as related to nitrógeno and phosphorus nutrition. *Journal. Plant Nutrition* 17 (6): 1005-1015.

- Olsen, L.K., Scomer, A.H., Bartram, D.R. 1967. Segregation of 'Golden Delicious' apples for quality by light transmission. *American Society for Horticultural Science*. 91:821-828.
- Pijoan, J.P. 1995. Nitrofisiología-Fisiología de la Nutrición 1995. In: *Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición* (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Pola, A.C.; Petri, J.L.; Suzuli, A.; Mondardo, M. 1991. Riego en manzano. *Futicultura Profesional*. 48: 45-46.
- Puppo, L.; García, M. 2009. Estimación de los contenidos de tanque A para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona sur del Uruguay. *Agrociencia*. 13(2): 47-51.
- Richardt, L.A. 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*. 68:95-112.
- Ruiz, R. 1986. Fertilización nitrogenada en manzano. II niveles foliares extracción de nutrientes y eficiencia de uso de nitrógeno. *Agricultura Técnica* 46(3): 314-321. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR26928.pdf>
- Sánchez, E.E. 1995. Nutrición Nitrogenada en Frutales de Pepita. In: *Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición* (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.
- Sánchez E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed). Estación Experimental Alto Valle de Río Negro. Macrorregion Patagonia.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148: 339-346.
- Shackel, K. 2001. The use of midday stem water potential for irrigation scheduling and water stress diagnosis in prune and almond. *International Symposium Irrigation and Water Relations in Grapevines and Fruit Trees*, 2001, Mendoza. Proceedings. Mendoza: ISHS. 2001. CD. Rom.
- Shear, C.B., 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10(4): 361-365.
- Spangenberg, L.A.; Gioia De Martin, O.; Calabrese, H.L. 1985. Efecto de diferentes manejos de suelo y la cobertura vegetal, en riego y secano sobre el régimen hídrico del suelo y la producción de manzanas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p
- Uriu, K.; Magness, J.R. 1967. Deciduous tree fruit and nuts in irrigation of agricultural lands. *Agronomy*. 11: 686-703.

- Veihmeyer, F.J.; Hendrickson, H.H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. *Annual Review of Plant Physiology*. 1: 285-304.
- Weinbaum, S.A., Jhonson, R.C., Dejong, T.M. 1992. Causes and consequences of over fertilization in orchards. *HortTechnology* 2(1): 112-120.