

Análisis y jerarquización de factores determinantes del rendimiento de tomate para industria en Uruguay

Berrueta Cecilia¹, Dogliotti Santiago², Franco Jorge³

¹*Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ruta 48 km 10. Canelones, Uruguay.*

²*Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Garzón 780. 12900. Sayago. Montevideo. Correo electrónico: sandog@fagro.edu.uy*

³*Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC). Ruta 3, km 363. 60000 Paysandú, Uruguay.*

Recibido: 6/2/12 Aceptado: 30/6/12

Resumen

El rendimiento potencial del cultivo de tomate para industria en el Uruguay según experimentos en el país es de 90 Mg ha⁻¹. En contraposición, la productividad promedio del cultivo a nivel comercial no supera los 50 Mg ha⁻¹. Este trabajo tiene por objetivo determinar cuales son las causas principales que determinan las diferencias de rendimiento entre productores de tomate para industria, estableciendo un orden jerárquico de factores determinantes. Para esto, se realizó un análisis de los factores que afectaron el rendimiento en los sistemas de producción en la zafra 2007/08. La metodología se basó en un muestreo estratificado de productores. Se formó una muestra de 22 productores, en los cuales se relevaron variables relacionadas al sistema de producción, al sistema de manejo y se midió el rendimiento. Dichas variables se clasificaron en niveles para realizar el análisis de varianza y las que resultaron significativas se incluyeron en un modelo mixto. A partir del análisis, se concluyó que la variable que explicó en mayor medida las diferencias en rendimiento para la zafra en estudio fue el agua disponible (43% de la variación total). La aplicación de cama de pollo siguió en importancia y explicó el 21% de la variación de rendimiento. Otras variables significativas fueron la densidad de plantas y la variedad.

Palabras clave: cama de pollo, déficit hídrico, brechas de rendimiento, *Solanum lycopersicum*, sistemas de cultivo

Summary

Analysis and Hierarchy of Yield Determinant Factors on Tomato for Processing in Uruguay

The potential yield of tomato crops grown for processing in Uruguay is 90 Mg ha⁻¹, according to experiments in the country. In contrast, the average productivity of commercial farmers does not exceed 50 Mg ha⁻¹. This study aims to explain the main causes of the differences in yield among growers of tomato for processing, establishing a hierarchical order of the determinant factors. For this, we performed an analysis of factors affecting performance in production systems in 2007/08 harvest. The methodology was based on a stratified sample of producers. Within this sample of 22 farmers, we measured and collected information on several variables related to the farming systems, the crop management systems and the performance of the crop. These variables were classified into levels for the analysis of variance, and the ones that were significant were included in a mixed model. From this analysis, we concluded that the variable that explained further the differences in yield for the crop under study was the water available (43% of total variation). The application of poultry litter followed in importance and explained 21% of yield variation. Other significant variables were plant density and variety.

Key words: poultry manure, water deficit, processing tomato, yield gaps, *Solanum lycopersicum*, farming systems

Introducción

La producción de tomate con destino industrial ha alcanzado en los últimos cinco años un volumen entre 8 y 10000 toneladas anuales, involucrando a más de 200 productores del sur del Uruguay (DIEA, 2006, 2007, 2008). Este nivel de actividad ha sido posible gracias a la implementación de un plan de desarrollo del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) denominado Plan Tomate. El mismo estimula la producción mediante subsidios y financiamiento de insumos para la producción y actúa estableciendo varios planes de negocio. Los planes de negocio son las unidades ejecutoras en las que se divide el Plan Tomate e involucran a varios productores en torno a una empresa procesadora. La sostenibilidad de la cadena del tomate industria en nuestro país depende de diversos factores, algunos externos al país, otros relacionados a la capacidad y eficiencia industrial, y otros a la posibilidad de los productores de producir tomate a un costo competitivo en la región, sin deteriorar los recursos naturales y recibiendo una compensación atractiva por su trabajo e inversión. Son varios los factores que inciden en la eficiencia del proceso productivo y en el costo por unidad de producto, pero el rendimiento es uno de los más importantes (Ghezan, 2000).

Un problema que se ha observado a lo largo de los años de existencia del Plan Tomate es la marcada diferencia entre el rendimiento logrado por los productores en sus predios y los rendimientos alcanzables de acuerdo a ensayos experimentales nacionales. Según datos extraídos del ensayo de evaluación de cultivares 2007/08 de

INIA, se obtuvo un rendimiento promedio de 95,6 Mg ha⁻¹ (González y Berrueta, 2008). En contraposición, el rendimiento promedio de los productores del Plan Tomate reportado por el MGAP-Dirección General de la Granja (DIGEGRA) para la zafra 2007/08 fue de 41,6 Mg ha⁻¹. Este valor significa un 43% del rendimiento promedio del ensayo antes mencionado. Esta situación se repitió desde el inicio del Plan, como se observa en la Figura 1, donde el rendimiento promedio a nivel comercial es aproximadamente la mitad del potencial obtenido experimentalmente.

Además de esta gran brecha general de rendimiento, se registra también una importante variabilidad entre diferentes planes de negocios y entre productores dentro de cada plan. Según los registros de rendimientos del MGAP-DIGEGRA, en la zafra 2005/2006 la productividad promedio por plan de negocio varió entre 25,7 Mg ha⁻¹ y 42,2 Mg ha⁻¹. A su vez, promediando las zafras desde la 2005/2006 a la 2007/2008, el 25% de los productores participantes en el Plan Tomate obtuvo rendimientos menores a 20 Mg ha⁻¹, mientras que el 33% obtuvo rendimientos mayores a 40 Mg ha⁻¹.

Para avanzar en la mejora de los rendimientos es imprescindible en primer lugar conocer las causas que determinan la brecha entre los rendimientos reales alcanzados por los productores y los alcanzables de acuerdo a las condiciones agroecológicas de la región. También es necesario conocer las causas que determinan las diferencias entre productores en la eficiencia del proceso productivo. Este conocimiento permitirá ajustar las recomendaciones

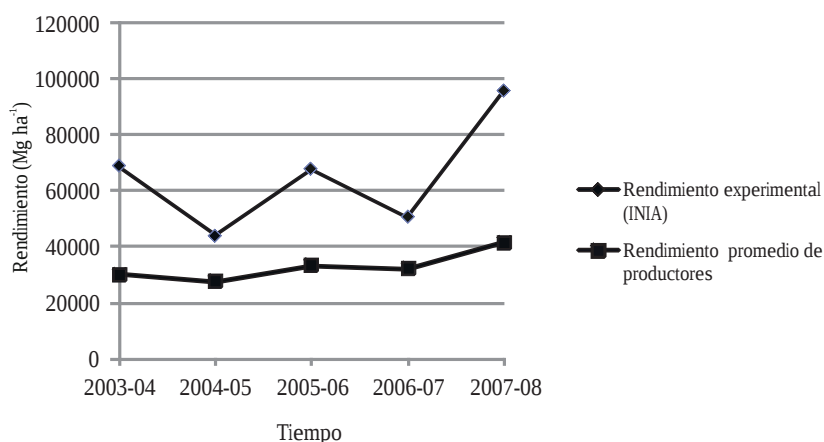


Figura 1. Rendimiento promedio de los ensayos comparativos de cultivares de tomate para industria (INIA) y promedios de los productores participantes del Plan Tomate.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MGAP - DIGEGRA 2003-2008, INIA 2003 - 2008.

técnicas, planificar mejor las actividades de capacitación de técnicos y productores, y diseñar líneas de investigación más apropiadas a los problemas reales del sector. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los sistemas de producción de tomate para industria de los productores participantes del Plan Tomate y estudiar cuáles fueron las causas principales que determinaron las diferencias de rendimiento entre productores en la zafra 2007-2008, estableciendo un orden jerárquico de los factores determinantes.

Materiales y métodos

Para identificar los principales factores que determinaron las diferencias de rendimientos entre los productores se adaptó un método desarrollado por Doré *et al.* (1997). Este consiste en un diagnóstico de los problemas agronómicos en los sistemas productivos, en el cual se estudian las variaciones en el rendimiento físico de una zona de producción en los propios establecimientos productivos (Figura 2).

El primer paso fue revisar la información disponible acerca del proceso de formación del rendimiento del cultivo y cómo lo afectan diferentes condiciones ambientales y de

manejo. Luego se tomó una muestra aleatoria estratificada de la población objetivo, definida como los productores de tomate para industria del sur del Uruguay participantes del Plan Tomate (225 en total). Para el muestreo, la población se estratificó en función de la zona, de manera de contemplar diferencias sociales, tecnológico-productivas, de disponibilidad de agua y edáficas que presentan las distintas zonas de producción. Se definieron tres zonas: sureste del departamento de San José, centro-sur y noreste del departamento de Canelones, donde se concentran los grupos de productores asociados con diferentes planes de negocios. A su vez, dentro del estrato de productores del noreste de Canelones se formó un grupo de productores con riego y otro con predios carentes de esta tecnología. Todos los productores de las otras dos zonas realizaban el cultivo con riego. Dentro de cada uno de los cuatro estratos se seleccionaron productores al azar obteniendo una muestra de 22 en total: cinco en San José, cinco en el sur de Canelones, cinco en el noreste de Canelones con riego y siete sin riego. El tamaño de la muestra fue del 10% del total de la población.

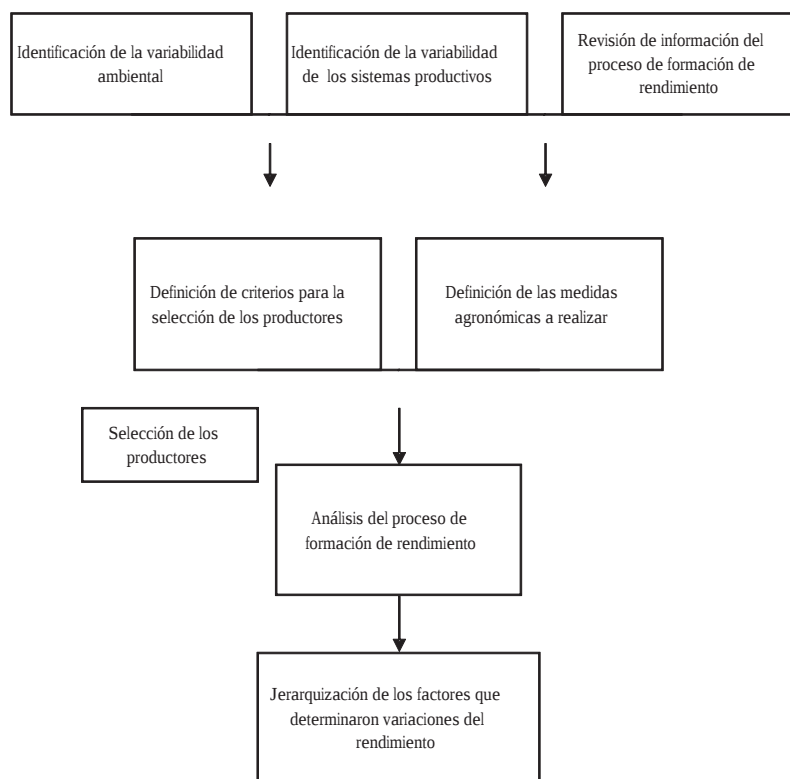


Figura 2. Diagrama de método de diagnóstico de problemas agronómicos en los sistemas productivos.

Fuente: Doré *et al.* (1997).

Las variables relevadas en cada unidad de muestreo se dividieron en seis grupos: condiciones edáficas; características principales del sistema de producción a nivel predial; sistema de manejo del cultivo y tecnologías empleadas; agua disponible para el cultivo; y desarrollo del cultivo y rendimiento.

Variables edáficas

Para determinar las propiedades físicas del suelo, se realizaron calicatas de 60 cm sobre el camellón en cada cuadro de estudio. De las mismas se extrajeron muestras perturbadas a tres profundidades de suelo a 20, 40 y 60 cm. Las mismas se emplearon para inferir las propiedades físicas del suelo mediante el método de pipeta (Soil Conservation Service, 1972). Además se midió la densidad aparente por el método del picnómetro (Blake, 1986). Las propiedades químicas del suelo se determinaron mediante análisis estándar; las muestras se extrajeron con calador, tomando una muestra compuesta por 20 tomas individuales por cuadro, a 20 cm de profundidad.

Los registros de las aplicaciones de cama de pollo, fertilizaciones de base y re-fertilizaciones realizadas por los productores se emplearon para cuantificar los aportes totales de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en la temporada. En base al contenido de nutrientes en el suelo y los aportes orgánicos y minerales se definieron niveles de nutrición mineral de los cultivos según procedimiento recomendado por el grupo disciplinario de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía. Las relaciones utilizadas fueron: 1170 kg de K_2O ha^{-1} elevan 1 meq potasio $100g^{-1}$ de suelo; 10 kg de P_2O_5 ha^{-1} elevan 1 ppm de fósforo Bray en el suelo.

Características del sistema de producción a nivel predial

Mediante la realización de entrevistas a los productores se recabó información general del predio y de su actividad productiva. Se registraron datos referentes a la organización de la producción, superficie predial, principal fuente de ingresos, mano de obra contratada y familiar, maquinaria e instalaciones disponibles y tecnología de implantación de cultivos. En base a los datos recabados se construyeron los siguientes índices: superficie de tomate en relación a otros cultivos, principal fuente de ingresos, grado de diversificación y grado de mecanización.

Sistema de manejo del cultivo y tecnologías empleadas

Para el relevamiento de datos referentes al manejo de los cultivos se extrajo información de registros en el 'cuadro de campo' de cada predio (registro obligatorio para los productores participantes del Plan Tomate) y se entrevistó a cada productor. Se obtuvieron los siguientes datos:

manejo fitosanitario: calendario de aplicaciones de productos fitosanitarios y en función de eso se calculó el número de aplicaciones por ciclo; uso y manejo anterior del suelo: método de preparación de suelo, la implantación de abonos verdes previos al cultivo, aplicación de enmiendas orgánicas y cultivo anterior; tecnología de almácigos: método de producción de plantas y origen de la semilla; e instalación del cultivo: variedades empleadas, fecha de trasplante y marco de plantación.

Agua disponible para el cultivo

Para cuantificar el agua disponible para el cultivo se realizó un balance hídrico simplificado incluyendo como entradas al sistema las precipitaciones y los riegos, y como salida la evapotranspiración potencial del cultivo (ETP). Las precipitaciones se registraron mediante la colocación de pluviómetros en los predios que fueron relevados tras cada evento de lluvia. El aporte de agua de riego por unidad de tiempo se determinó midiendo el caudal real de los goteros en una muestra de 18 emisores en distintos puntos del cuadro (todos los productores que regaron lo hicieron por el sistema de goteo). Además, se registró la frecuencia y duración de los riegos en planillas. Con estos datos se estimó la lámina de riego aplicada en cada caso.

La ETP del cultivo se estimó utilizando los valores de evapotranspiración diarios del tanque «A» y el coeficiente del tanque (Kt) obtenidos de la estación agro-meteorológica de INIA-Las Brujas, 2007/8 y el coeficiente de los cultivos (Kc) para tomate a campo de 60 cm de altura máxima de FAO (Allen *et al.*, 2006), para cada etapa del ciclo de desarrollo del cultivo. De acuerdo a experimentos anteriores (García *et al.*, 2006), las etapas del ciclo del cultivo se dividieron de la siguiente forma: período inicial, 0 a 7 días después del trasplante (ddt), $Kc = 0,6$; período desarrollo vegetativo, 8 a 50 ddt, $Kc = 0,6-1,15$; período de máxima cobertura de suelo, 50 ddt a inicio de cosecha, $Kc = 1,15$; período final, de inicio a fin de cosecha, $Kc = 1,15-0,8$.

Rendimiento y calidad

Para determinar el rendimiento físico en la cosecha se delimitaron en cada cultivo cuatro parcelas de dos metros lineales de cantero, distribuyéndolas de manera de abarcar distintas zonas del cuadro. En cada parcela se registró el número de plantas a inicio de cosecha, el peso y número de frutos con calidad para industria y de descarte. Los des-

cartes se clasificaron en dos grupos, frutos con podredumbre apical y frutos con daños debidos a causas varias. Los resultados por productor se obtuvieron promediando los resultados en las cuatro parcelas.

Análisis estadístico

Para la determinación de la importancia del efecto de cada variable sobre el rendimiento comercial, se clasificaron las variables independientes en dos (alto, bajo) o tres (alto, medio, bajo) niveles y se realizaron análisis de varianza considerando estos niveles como «tratamientos» en un modelo completamente al azar. Las variables que resultaron significativas fueron seleccionadas. Se calculó el porcentaje de la variación explicada por cada una de las variables seleccionadas en el análisis de varianza utilizando un modelo mixto. De esta forma se determinaron los componentes de la varianza. Se utilizaron los procedimientos GLM y MIXED del programa SAS.

Para describir la variación entre productores en sistemas de manejo del cultivo y su efecto en el rendimiento, se agruparon los predios en grupos utilizando como variables clasificatorias el rendimiento comercial, y las variables que explicaron en mayor medida las variaciones en el rendimiento según el análisis anterior. Se utilizó el procedimiento de análisis de conglomerados del programa INFOSAT, método no jerárquico 'K-means', utilizando tipo de distancia euclidiana con datos estandarizados. Se estableció el número de grupos en cuatro, ya que con un mayor número de grupos no se obtuvieron reducciones importantes en la función objetivo (suma de distancias al cuadrado).

Resultados

El rendimiento comercial varió entre 20,8 y 92,9 Mg ha⁻¹ con un coeficiente de variación del 36,9%. El rendimiento promedio de la muestra fue de 53,2 ± 19,6 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1). El descarte promedio de frutos fue 12% del rendimiento total, siendo la principal causa la podredumbre apical.

A partir del relevamiento de las variables y la clasificación de las mismas en niveles se obtuvo la distribución de los productores en categorías como se presenta en el Cuadro 2. Las únicas variables que presentaron efectos significativos ($P \leq 0,10$) sobre el rendimiento en el análisis individual de varianza fueron el déficit hídrico, la aplicación de cama de pollo, la variedad y la densidad de plantas. En el análisis conjunto de las variables significativas mencionadas utilizando un modelo mixto solo dos explicaron más del 1% de la variación: el déficit hídrico, que explicó el 43% de

la variación de rendimiento, y la aplicación de cama de pollo, la cual explicó el 21% de la variación del rendimiento comercial.

El rendimiento promedio de los cultivos con déficit hídricos mayores a 202 mm fue de 32,4 ± 10,3 Mg ha⁻¹; cuando los déficit se ubicaron entre 121 y 202 mm el rendimiento promedio fue de 54,3 ± 9,0 Mg ha⁻¹ y cuando la falta de agua fue menor a 121 mm el rendimiento alcanzó los 66,3 ± 15,2 Mg ha⁻¹. Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la prueba de comparación de medias de Tukey entre los rendimientos correspondientes a los déficits mayores a 202 mm y los dos niveles con deficiencias hídricas menores. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre el nivel intermedio y el de menor déficit, pero la diferencia fue de 12,0 Mg ha⁻¹.

El efecto de la variable aplicación de cama de pollo sobre el rendimiento presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$): el rendimiento promedio de los casos que aplicaron cama de pollo fue de 67,4 ± 14,0 Mg ha⁻¹, mientras que para los que no aplicaron la enmienda fue de 46,1 ± 8,9 Mg ha⁻¹.

Se encontraron diferencias significativas entre la variedad Río Grande y los híbridos de Heinz (Caballero, H9997 y H9663). El rendimiento promedio de los cultivos de la variedad Río Grande fue de 25,9 ± 7,2 Mg ha⁻¹, mientras que los híbridos de Heinz produjeron en promedio 65,5 ± 12,7 Mg ha⁻¹. El cultivar Loica obtuvo rendimientos medios (49,2 ± 18,2 Mg ha⁻¹) en relación a los otros cultivares, pero no se detectaron diferencias significativas.

El rendimiento promedio de los cultivos con densidades de plantación menores a 20 mil (37,8 ± 12,6 Mg ha⁻¹) fue significativamente inferior a los cultivos con densidades mayores a 20 mil plantas por hectárea (59,3 ± 12,6 Mg ha⁻¹). No se detectaron diferencias significativas entre densidades intermedias (20 a 24 mil plantas ha⁻¹) y mayores a 24 mil plantas por hectárea.

El análisis de conglomerados, utilizando como variables clasificatorias el rendimiento comercial, el déficit hídrico y la aplicación de cama de pollo, resultó en tres grupos de productores bien diferenciados y un cuarto grupo residual integrado por dos productores que no pudieron ser clasificados en ninguno de los primeros tres grupos (Cuadro 3).

El primer grupo quedó integrado por cinco productores con bajos rendimientos, alto déficit hídrico y sin aplicación de cama de pollo. Estos productores realizaron sus cultivos a baja densidad de plantación, con una fecha de trasplante intermedia entre el segundo y tercer grupo, un nivel de fertilización similar al grupo 2, pero inferior al grupo 3, y

Cuadro 1. Rendimiento comercial y descartes totales según productor de tomate para industria en la zafra 2007/2008.

Productor	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	Descartes totales (Mg ha ⁻¹)
23	92,9	6,4
2	87,8	3,9
11	83,0	9,7
22	67,6	2,3
3	64,3	4,2
7	60,4	4,1
21	60,1	9,3
18	59,3	9,9
5	59,3	5,6
6	58,2	9,4
1	58,2	13,3
4	52,9	11,4
16	51,9	8,8
10	53,2	7,3
14	43,5	7,7
17	43,0	3,0
15	40,4	9,7
8	31,1	5,0
13	27,7	12,4
19	27,6	3,6
12	27,2	4,7
9	20,8	7,6
Promedio	53,2	7,3
CV ¹ (%)	36,9	38,5

¹CV: Coeficiente de variación.

todos realizaron almácigos a campo. Todos estos productores se ubican en el NE de Canelones. Tres productores repitieron tomate en el mismo lugar y dos lo plantaron en campos que no habían tenido tomate en los últimos 10 años, la variedad predominante fue Loica (3) seguida por Río Grande (2). El nivel de mecanización fue bajo, sin tractor (2) o con solo tractor y sin pulverizadora y encanterador (3).

Los ocho productores del segundo grupo, tuvieron un rendimiento intermedio, con déficit hídrico moderado a nulo y sin aplicación de cama de pollo. Estos productores realizaron sus cultivos con una densidad de plantación media a alta, fecha de trasplante más tardía que los otros dos grupos y la mayoría (5) realizó almácigos a campo. Estos productores se ubican en el NE de Canelones (6) y San José (2). Tres productores repitieron tomate en el mismo lugar, tres

tuvieron tomate en el mismo lugar al menos una vez durante los últimos tres años y dos lo plantaron en campos que no habían tenido tomate en los últimos 10 años. La variedad predominante fue Loica (6), seguida por híbridos Heinz (2). El nivel de mecanización fue intermedio entre el grupo 1 y 3 con tres productores sin tractor, dos con solo tractor y tres con tractor, pulverizadora y encanterador.

El tercer grupo quedó integrado por siete productores con alto rendimiento, déficit hídrico moderado a nulo y con aplicación de cama de pollo. La densidad de plantación fue intermedia a alta. La fecha de trasplante fue algo más temprana y el nivel de fertilización más alto que en los otros dos grupos. La mayoría de los productores adquirieron sus plantas en viveros (5). Estos productores se ubican en el CS de Canelones (3), NE de Canelones (2) y San José (2). Tres

Cuadro 2. Número de productores por categoría para las variables relevadas.

Variable relevada	Categoría	Número de productores
Ubicación del productor	San José	5
	Sur de Canelones	5
	Noreste de Canelones	12
Importancia del rubro según ingreso	Principal fuente de ingreso	12
	Segunda fuente de ingreso	10
Grado de diversificación predial	Solo horticultura	13
	Horticultura más ganadería o fruticultura	9
Grado de mecanización	Posee tractor, pulverizador y encanterador	12
	Posee solo tractor	5
	No posee maquinaria	5
Fecha de trasplante	12/10 - 30/10	7
	1/11 - 19/11	6
	20/11 - 25/12	9
Cultivo anterior	Tomate en los últimos 3 años	16
	Sin tomate desde hace más de 10 años	6
Abono verde	Realizaron abonos verdes invernales	4
	No se realizaron abonos verdes	18
Cama de pollo	No se aplicó cama de pollo	14
	Se aplicó cama de pollo	8
Textura de suelo	Franco - Franco limoso	10
	Franco arcilloso	12
Densidad aparente de suelo (g cm ⁻³)	menor a 1,1	7
	1,1 - 1,2	7
	1,2 - 1,5	8
Nitrógeno disponible (kg ha ⁻¹)	menos de 100	3
	100 - 145	9
	más de 145	10
Fósforo disponible (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	menos de 40	5
	40 - 70	8
	más de 70	9
Potasio disponible (kg K ₂ O ha ⁻¹)	menos de 0,4	4
	0,4 - 0,7	11
	más de 0,7	7
Variedad	Loica	11
	Río Grande	3
	Híbridos Heinz	7
Densidad de plantas (plantas ha ⁻¹)	menos de 20 mil	7
	20 - 24 mil	9
	más de 24 mil	6
Déficit hídrico (mm)	mayor a 202	7
	121 - 202	6
Cantidad de aplicaciones sanitarias	1 - 5	9
	6 - 9	9
	10 - 15	5
Duración del ciclo (días)	menor a 85	8
	mayor a 85	15
	menor a 121	9

Cuadro 3. Valores promedio, mínimos y máximos para rendimiento, déficit hídrico, aplicación de cama de pollo, densidad de plantación, largo del ciclo, fecha de trasplante y fertilización con N, P y K, de los tres grupos de productores obtenidos utilizando como variables clasificatorias el rendimiento, el déficit hídrico y la aplicación de cama de pollo.

Grupo	Número de productores	Valor	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	Déficit hídrico (mm)	Cama Pollo (Mg ha ⁻¹)	Densidad (plantas ha ⁻¹)	Largo ciclo (días)	Fecha trasplante (1º octubre = 1)	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
1	5	Media	26,9	286	0	18400	85	45	118	138	36
		Máx	31,1	309	0	15850	92	54	152	138	60
		Mín	20,9	253	0	20200	65	33	86	138	0
2	8	Media	52,9	83	0	22650	82	51	117	143	24
		Máx	67,6	201	0	24450	96	85	169	223	60
		Mín	40,5	-58	0	20000	70	17	61	73	0
3	7	Media	67,4	93	15	23500	94	32	203	206	129
		Máx	92,9	240	20	30200	102	70	302	332	288
		Mín	52,9	-47	10	18200	79	11	120	102	58

repitieron tomate en el mismo lugar y cuatro lo realizaron en el mismo lugar al menos una vez en los últimos tres años. La mayoría de los productores plantaron híbridos de Heinz (5) y el resto plantó la variedad Loica (2). El nivel de mecanización fue alto, cinco productores contaban con tractor, pulverizadora y encanterador y dos contaban solo con tractor.

En el cuarto grupo quedaron ubicados dos productores que no fueron clasificados en ninguno de los grupos anteriores. Un productor de muy alto rendimiento (87,8 Mg ha⁻¹) que no fue incluido en el grupo 3 porque no aplicó cama de pollo y porque tuvo un exceso hídrico de más de 400 mm. El otro productor tuvo bajo rendimiento (24,1 Mg ha⁻¹) y no fue incluido en el grupo 1 porque aplicó 10 Mg ha⁻¹ de cama de pollo y tuvo un exceso hídrico de 100 mm.

Discusión

Se registró una variación importante en los rendimientos obtenidos entre los productores de tomate para industria (coeficiente de variación: 36,9%), coincidiendo con lo observado a lo largo de la experiencia del Plan Tomate en Uruguay (DIGEGRA, 2006, 2008). La productividad máxima (93 Mg ha⁻¹) se aproxima al rendimiento promedio obtenido a nivel experimental en la Estación INIA Las Brujas que fue de 95,6 Mg ha⁻¹ (González y Berrueta, 2008). Esto sugiere que los resultados productivos obtenidos a nivel experimental son posibles a nivel comercial. Del punto de vista agroclimático fue un año muy bueno para la producción de tomate industria. El rendimiento promedio alcanzado por los 225 productores del plan tomate, de acuerdo a datos suministrados por el MGAP-DIGEGRA fue el más

alto en ocho zafras desde el inicio del Plan en el 2003/2004. El rendimiento promedio obtenido por la muestra de 22 productores seleccionada en este estudio fue 11,6 Mg ha⁻¹ superior al promedio general del Plan.

En lo que refiere a descartes de fruta en la cosecha, el principal factor fue la podredumbre apical del fruto causado por deficiencia de calcio en el momento de floración y cuajado (Marcelis y Ho, 1999). Las condiciones del tiempo de la temporada, según datos extraídos de registros de la estación agro-meteorológica INIA-Las Brujas, se caracterizaron por presentar elevadas demandas atmosféricas y escasas precipitaciones, que son condiciones favorables para el desarrollo de deficiencias de calcio en frutos (Bar-Tal *et al.*, 2001).

Las variaciones en el rendimiento fueron explicadas en primer lugar por el grado de satisfacción de las demandas hídricas del cultivo. Este resultado se explica por el marcado déficit en el balance entre precipitaciones y evapotranspiración que ocurrió según datos extraídos de registros de la estación agro-meteorológica de INIA-Las Brujas. A partir del análisis estadístico se pudo constatar que los rendimientos con déficit hídricos bajos (menores a 121 mm) duplicaron a aquellos obtenidos con déficit mayores a 202 mm. Similar resultado fue reportado por García *et al.* (2006), quienes obtuvieron que el rendimiento máximo (86,0 Mg ha⁻¹) se logró aportando láminas mayores al 50% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), mientras que con láminas de riego menores (25% de la ETc) el rendimiento fue de 36,5 Mg ha⁻¹. El déficit hídrico durante el período de cuajado de frutos afecta negativamente el número de frutos por unidad de superficie. En la fase de crecimiento y maduración del fruto,

niveles hídricos insuficientes provocan una reducción del peso unitario del fruto, disminuyendo por estas dos vías la productividad por superficie del cultivo (Mitchell *et al.*, 1991; Castilla, 1995).

La aplicación de cama de pollo fue también importante para explicar las variaciones de rendimiento. Con la incorporación de esta enmienda el rendimiento promedio estuvo 20 Mg ha⁻¹ por encima del promedio de los casos sin aportes de materia orgánica. Esta práctica tiene un efecto muy positivo en el rendimiento de tomate, como establecieron varios autores (Morelock y Hall, 1980; Oikeh y Asiegbu, 1993). Argerich *et al.* (2011), por ejemplo, reportaron aumentos del orden de 30 Mg ha⁻¹ en el rendimiento, aportando 15 Mg ha⁻¹ de cama de pollo. Cuando el suelo tiene bajo contenido de materia orgánica se compacta y se encostra afectando el desarrollo radicular, la capacidad de retención de agua del suelo y la aireación; además reduce las propiedades químicas del suelo, principalmente la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes. Por estos motivos es de suma importancia aportar materia orgánica al suelo mediante aplicaciones de enmiendas orgánicas o implantación de abonos verdes (Folquer, 1979; Salazar *et al.*, 2004). En este estudio no se encontró relación entre la aplicación de abonos verdes y las diferencias en rendimiento de los cultivos, probablemente porque solo cuatro productores aplicaron esta técnica. Son abundantes las referencias nacionales e internacionales aportando evidencias sobre el efecto positivo de esta técnica en el rendimiento del siguiente cultivo y en la conservación de la calidad del suelo (Abdul-Baki *et al.*, 1996; Calegari, 2003; Sholberg *et al.*, 2010) y es preocupante que solo una proporción muy menor de los productores la utilicen (4/22); lo mismo ocurre con la enmienda con cama de pollo (8/22).

A pesar de que estadísticamente la variedad Río Grande rindió significativamente menos que los híbridos Heinz, no se puede sacar conclusiones al respecto ya que solo tres productores utilizaron Río Grande y dos de ellos realizaron el cultivo en secano, con alto déficit hídrico. Por otro lado, los híbridos Heinz fueron plantados solo por productores de San José y centro sur de Canelones, todos con riego. Por último la variedad Loica se sembró solo en el NE de Canelones, en la mayoría de los casos sin aplicación de cama de pollo y en algunos casos sin riego.

Los cultivos con densidades de plantación inferiores a 20 mil plantas ha⁻¹ tuvieron significativamente menor rendimiento que aquellos con densidades mayores. Es bien conocido y ha sido muy estudiado el efecto de la densidad de plantas en el rendimiento de tomate. La densidad de

plantas afecta el rendimiento a través del índice de área foliar (Heuvelink, 1995). El aumento de la densidad hasta cierto nivel produce un incremento del índice de área foliar y por ende aumenta el rendimiento (Villejas *et al.*, 2004), pero también puede aumentar la demanda de agua del cultivo (Kays y Nicklow, 1974). Sin embargo, al igual que con el efecto de la variedad, tampoco se pueden sacar conclusiones definitivas con respecto al efecto de este factor en el rendimiento ya que las densidades más bajas de plantación se encontraron en productores que realizaron el cultivo sin riego. Además se dieron dos casos de productores con menos de 20 mil plantas ha⁻¹, con riego y aplicación de cama de pollo que alcanzaron rendimientos de más de 60 Mg ha⁻¹.

Utilizando como variables el rendimiento, el déficit hídrico y la aplicación de cama de pollo se clasificó a los productores en tres grupos claramente diferenciados, a los cuales se asocian otras características que permiten describir los sistemas de producción existentes de forma más general. No se puede afirmar que estas características hayan tenido efecto en el rendimiento obtenido por los distintos grupos, pero ayudan a la comprensión más global de los sistemas en estudio. Por ejemplo, la aplicación de cama de pollo solo se realizó en predios con nivel alto o medio de mecanización. No quiere decir esto que la aplicación no pueda hacerse sin maquinaria pero la cantidad de mano de obra que requiere esta tarea es significativamente mayor cuando no se dispone de tractor y zorra.

En la zona del NE de Canelones se dieron los mayores déficits hídricos, no solo porque en esta zona se ubicaban todos los productores que realizaron el cultivo en secano, sino que también para la mayoría de productores con riego en esta zona el agua disponible no fue suficiente para abastecer las necesidades del cultivo. En cambio varios productores de San José y de la zona centro-sur de Canelones aplicaron láminas de riego muy por encima de la demanda potencial del cultivo. En las próximas zafras del Plan Tomate deberían tenerse en cuenta estos resultados, planificando mejor las superficies máximas de cultivo por productor según su disponibilidad real de agua para riego, continuando el apoyo a la inversión en infraestructura de riego y a la formación de los productores en el uso del recurso agua.

En los datos presentados en el Cuadro 2 se puede ver que la mayoría de los productores no aplican técnicas culturales básicas y de impacto reconocido en el resultado productivo y ambiental de los sistemas de producción, como son la rotación, y el mantenimiento de la cobertura del suelo

y de la materia orgánica a través de abonos verdes y enmiendas orgánicas. Las características climáticas favorables de esta zafra podrían haber contribuido a que no se observaran problemas sanitarios importantes, que son en general promovidos por el monocultivo o rotaciones muy cortas. Pero un plan de desarrollo sostenible de este sector debería tener entre sus prioridades atacar las causas de la baja adopción de estas técnicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los 22 productores que participaron de esta experiencia contribuyendo con su valioso aporte, y al personal de campo de INIA Las Brujas por su contribución en la colecta de datos y mediciones a campo. También a los técnicos asesores de los Planes de Negocios de tomate y de DIGEGRA por la información brindada.

Bibliografía

- Abdul-Baki AA, Teasdale JR, Korcak R, Chitwood DJ, Huettel RN. 1996. Fresh-market tomato production in a low-input alternative system using cover-crop mulch. *HortScience*, 31: 65 - 69.
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO. 298p. (Serie Riego y Drenaje; 56).
- Argerich CA, Aquino NS, Navarro AP. 2011. Evaluación de dosis de estiércol aplicado a manto en cultivo de tomate para industria con y sin la presencia de acolchado plástico [En línea]. En: Programa para el aumento de la competitividad de la industria del tomate : Informe progresos 2010-2011. Asociación Tomate 2000. INTA : La Consulta 2011. pp 131 – 139. Consultado 17 julio 2012. Disponible en: http://inta.gov.ar/documentos/asociacion-tomate-2000.-programa-de-competitividad-de-la-industria-de-tomate.-informe-de-progresos-2010-2011.-eea-la-consulta/at_multi_download/file?name=Asociaci%C3%B3n+Tomate+2000.Informe+Progresos+2010-2011.pdf.
- Bar-tal A, Keinan M, Aloni B, Karni L, Oserovitz Y, Gantz S, Hazan A, Itach M, Tratakovski N, Avidan A, Posalski I. 2001. Relationships between blossom- end rot and water availability and ca fertilization in bell pepper fruit production. *Acta Horticulturae*, 554: 97 - 104.
- Blake CR. 1986. Particle density. En: Klute A. [Ed.]. Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison : ASA. pp. 377 - 382.
- Calegari A. 2003. Cover crop management. En: García-Toress L, Benites J, Martínez-Vilela Holgado-Cabrera A. [Eds.]. Conservation Agriculture : environment, farmers-experiences, innovations, socio-economy, policy. Dordrecht : Kluwer Academics. pp. 191 - 199.
- Castilla N. 1995. Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: Nuez F. [Ed.]. El cultivo de tomate. Madrid : Mundi-prensa. pp. 212 - 217.
- DIEA. 2008. Encuestas Horticolas 2007 : Zonas Sur y Litoral Norte. Montevideo : MGAP. 44p. (Serie encuestas ; 263).
- DIEA. 2007. Encuestas Horticolas 2006 : Zonas Sur y Litoral Norte. Montevideo : MGAP. 48p. (Serie encuestas ; 251).
- DIEA. 2006. Encuesta horticola 2005 : Zonas Sur y Norte. Montevideo : MGAP. 44p. (Serie encuestas ; 236).
- DIGEGRA. 2008. Planes de negocios de industrialización de tomate, temporada 2007-2008. Montevideo : MGAP. 6p.
- DIGEGRA. 2006. Planes de negocios de industrialización de tomate, temporada 2005-2006. Montevideo : MGAP. 5p.
- Doré T, Sebillotte M, Meynard JM. 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54(2): 169 - 188.
- Folquer F. 1979. Preparación de suelo. En: El tomate, estudio de la planta y su producción comercial. Buenos Aires : Hemisferio Sur. pp. 21 - 29.
- García C, González M, Vilaró F, Rodríguez G, Cabot M, Carballo S, Casanova S. 2006. Manejo del riego y la densidad de plantas en tomate Loica. En: Reunión técnica de resultados experimentales en tomate para industria. Montevideo: INIA. (Actividades de Difusión ; 464). pp. 15 - 22.
- Ghezan G. 2000. Hortalizas : Tomate fresco y procesado. En: Trayectoria y demandas tecnológicas de las cadenas agroindustriales en el MERCOSUR ampliado. Montevideo : PROCISUR, BID. 140p. (Serie documentos ; 7).
- González M, Berrueta C. 2008. Evaluación de cultivares de tomate para industria. En: Jornada Técnica de Divulgación en el Cultivo de Tomate. Montevideo : INIA. (Actividades de Difusión ; 537). pp. 1 - 12.
- Heuvelink E. 1995. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 64: 193 - 201.
- Kays SJ, Nicklow CW. 1974. Plant competition: influence of density on water requirements, soil gas composition and soil compaction. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 99(2): 166 - 171.
- Marcelis LFM, Ho LC. 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 50(332): 357 - 363.
- Mitchell JP, Shennan C, Grattan SR, May DM. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2): 215 - 221.
- Morelock TE, Hall MR. 1980. Use of broiler litter on staked tomatoes. *Arkansas Farm Research*, 29(1): 38 – 39.
- Oikeh SO, Asiegbu JE. 1993. Growth and yield responses of tomatoes to sources and rates of organic manures in ferrallitic soils. *Bioresource Technology*, 45(1):21-25.
- Salazar E, Vázquez C, Leos JA, Fortis M, Montemayor JA, Figueroa R, López JD. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo riego sub-superficial. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 53: 259 - 273.
- Scholberg JMS, Dogliotti S, Leoni C, Cherr CM, Zotarelli L, Rossing WAH. 2010. Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas. En: Lichtfouse, E. [Ed.]. Sustainable Agriculture Reviews : Genetic Engineering, Biofertilisation. (Soil Quality and Organic Farming ; 4). pp. 23 - 58.
- Soil Conservation Service. 1972. Soil survey investigations. Washington : USDA. 63p. (Report ; 1).
- Villejas JR, González VA, Carrillo JA, Livera M, Sánchez F, Enciso TO. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4): 333 - 338.