

LABOREO REDUCIDO Y MANEJO DE RESIDUOS EN SISTEMAS HORTÍCOLAS: IMPACTO EN PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

F. Alliaume^a, G. Jorge^a, S. Dogliotti^b

^a Dpto. de Suelos y Aguas, Fac.de Agr.UDELAR. Garzón 780, Mvdeo.florenal@fagro.edu.uy, tel. 2356 1251.

^b Dpto. de Producción Vegetal, Fac.de Agr., UDELAR. Garzón 780, Mvdeo.

PALABRAS CLAVE: manejo conservacionista de suelo; horticultura; suministro de agua

RESUMEN

El desarrollo de sistemas de producción que frenen el deterioro y mejoren la calidad de los suelos es un punto clave para lograr la sustentabilidad de los sistemas hortícolas en el sur de Uruguay. En un contexto donde existen restricciones para regar y las precipitaciones son cada vez más variables espacial y temporalmente, es necesario lograr prácticas de manejo de suelo que disminuyan el escurrimiento y erosión, y aumenten la captura del agua en el suelo. Este estudio tuvo como objetivo cuantificar el efecto de diferentes manejos conservacionistas de suelo, en el escurrimiento, el contenido de agua en el suelo, los factores que afectan el riesgo de erosión, y la producción de cultivos hortícolas. Entre 2010 y 2013 se llevó a cabo un ensayo en la estación experimental Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía sobre un Brunosol éutrico (typic Argiudoll), donde se evaluaron cuatro manejos de suelo: un tratamiento con laboreo reducido con un cultivo de avena dejado como mulch entre cultivos comerciales e incorporación de cama de pollo (LR), y tres tratamientos con laboreo convencional: el primero con cultivo de avena usado como abono verde e incorporación de cama de pollo (LCav), el segundo con incorporación de cama de pollo (LCcp), y el tercero sin aplicación de materia orgánica como control (LC). Se instalaron parcelas de escurrimiento, se monitoreó semanalmente el contenido de agua hasta el metro de profundidad, y se monitoreó mensualmente la cobertura del suelo y la rugosidad del terreno para calcular el factor de uso y manejo que utiliza el modelo RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo). En este trabajo se reportan los resultados de los dos últimos años, que incluyeron los cultivos de maíz dulce y cebolla. El escurrimiento total acumulado durante el cultivo de maíz fue 10 mm menos bajo LR que bajo LC, y durante el cultivo de cebolla fue 20 mm menos bajo LR que bajo LC y LCcp. Los manejos que incluyen cultivo de cobertura, durante todo el año mantienen cubierto el suelo, ya sea por residuos o por vegetación, lo que disminuye el riesgo de erosión. La capacidad del suelo de retener agua en el camellón, se incrementó en promedio 1,8 mm/10 cm de suelo en los manejos LR y LCcp respecto a los otros dos manejos. Durante el cultivo de maíz, bajo laboreo reducido, los primeros 20 cm del suelo se mantuvieron con un contenido de humedad promedio de 10 mm más que los tratamientos de laboreo convencional. Sin embargo, este aumento en la humedad del suelo no se vio reflejado en el rendimiento del cultivo comercial, y aunque no significativamente, se constata una tendencia a mayores rendimientos en el tratamiento LCcp. El laboreo reducido con cobertura contribuyó a conservar el agua en el suelo, disminuir el riesgo de erosión y el escurrimiento.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas de producción que frenen el deterioro y mejoren la calidad de los suelos es un punto clave para lograr la sustentabilidad de los sistemas hortícolas en el sur de Uruguay. En estos sistemas, la calidad de los suelos se ve deteriorada especialmente debido a la alta frecuencia de cultivos, intenso laboreo, poca cobertura del suelo y baja entrada de carbono al

suelo (Alliaume et al., 2013; Dogliotti et al., 2003). Adicionalmente, la frecuencia de los eventos extremos como sequías y lluvias intensas se ha incrementado en la región (Giménez y Lanfranco, 2012). Sumado a lo anterior, existen restricciones para regar, dado que el agua es un factor limitante para la mayoría de los productores en el sur de Uruguay, donde solo una pequeña fracción (en promedio 35%) de los cultivos hortícolas pueden ser regados (Righi et al., 2011). Es necesario pues lograr prácticas de manejo de suelo que disminuyan el escurrimiento y erosión, y aumenten la captura del agua en el suelo.

Diferentes trabajos reportan que el laboreo reducido combinado con cultivos de cobertura pueden mejorar la calidad del suelo (Arboleya et al., 2010; Scopel et al., 2004; Johnson y Hoyts, 1999) y reducir el escurrimiento y la erosión (Alliaume et al., 2014; Boulal et al., 2008) en sistemas de producción hortícolas. Sin embargo, los resultados no son siempre consistentemente positivos, observándose en algunos casos detrimento en la producción (Alliaume et al., 2014; Luna et al., 2012). Dado los resultados de alguna forma contradictorios, se planteó continuar un experimento de prácticas conservacionistas de suelo iniciado en 2010, levantando las limitantes nutricionales y de instalación del cultivo que surgieron en los dos años anteriores (Alliaume et al., 2014). La meta del trabajo que se presenta aquí es analizar el efecto del laboreo reducido, la rotación de cultivos incluyendo cultivos de cobertura ya sea incorporados al suelo o dejados en superficie como mulch, y el agregado de cama de pollo al suelo en la conservación del suelo, el agua en el suelo y la producción en el tercer y cuarto cultivo comercial luego de instalado el experimento. Los objetivos del estudio son cuantificar el efecto de diferentes manejos conservacionistas de suelo, en el escurrimiento, en el contenido de agua en el suelo, en los factores que afectan el riesgo de erosión, y en la producción de los cultivos de maíz dulce (*Zea mays L. var. rugosa*) y cebolla (*Allium cepa L.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2010 y 2013 se llevó a cabo un ensayo en un cuadro hortícola de 50 x 30 m, con una pendiente de 1%, en la estación experimental Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía sobre un Brunosol éutrico (typic Argiudoll), con un Ap franco limoso. Allí se evaluaron cuatro manejos de suelo cultivado en camellones: un tratamiento con laboreo reducido con un cultivo de avena (*Avena strigosa L.*) dejado como mulch entre cultivos comerciales y con incorporación de cama de pollo (LR), y tres tratamientos con laboreo convencional: el primero con cultivo de avena usado como abono verde y con incorporación de cama de pollo (LCav), el segundo con incorporación de cama de pollo (LCcp), y el tercero sin aplicación de materia orgánica, como control (LC). El diseño experimental fue con 3 réplicas por tratamiento dispuestas al azar. En este trabajo se reportan los resultados del último período entre el 2012-2013.

La sucesión de cultivos comerciales fue tomate perita (*Lycopersicon esculentum Mill.*; variedad Loica) (2010 y 2011), maíz dulce (*Zea mays L.*) (siembra 5/11/2012) y cebolla (*Allium cepa L.*; variedad canarita) (transplante 27/06/2013). Los tratamientos que no llevaban avena, fueron dejados en barbecho durante el invierno. La avena se quemó con glifosato al menos un mes antes de instalar los cultivos comerciales, y a todos los tratamientos menos LR se les pasó una disquera y se re-encanteraron antes de instalar el cultivo. Además de la cama de pollo, se fertilizó con urea.

Se midió mensualmente la superficie cubierta por residuos en transectas de 1 m en 12 réplicas en las entrefilas, en los talúdes y sobre los camellones. La cobertura vegetal se calculó como la

fracción de la cobertura vegetal presente en muestras cada 5 cm a lo largo de transectas de 1,6 m. Calculamos los promedios ponderados de las coberturas considerando que las entrefilas ocupaban un 25% de la superficie total, la cima del camellón un 45% y el talud un 30%.

Se instalaron parcelas de escurrimiento (1,5 m ancho x 5 m largo) con chapas enterradas 10cm uniendo dos mitades de camellones y una entrefila. Un caño conectado a la chapa ubicada pendiente abajo conducía el agua escurrida a un tanque de 200 litros, enterrado al final de la parcela. El volumen de agua colectada se midió posteriormente a cada evento de lluvia. La infiltración acumulada se calculó como la diferencia entre la entrada de agua (precipitación más riego) y la salida por escurrimiento.

Se monitoreó semanalmente el contenido de agua con una sonda de neutrones cada 15 cm, hasta el metro de profundidad, y con TDR y el método gravimétrico para los 20 cm superficiales. Ambos equipos se calibraron con el método gravimétrico corregido por la densidad aparente.

La curva de tensión-humedad se calibró con muestras imperturbadas (aros de 68.7cm³) utilizando la tabla de tensión de 0,1 a 0,6 m, y las ollas de presión de Richard's para las tensiones 1, 3, 10 y 30 m. La densidad aparente se determinó dividiendo el peso seco de las muestras imperturbadas entre el volumen de los aros (Blake and Hartge, 1986).

El efecto de los tratamientos sobre el escurrimiento se estimó utilizando un modelo de máxima verosimilitud (REML por su sigla en inglés) con los tratamientos como efecto fijo y las repeticiones como efecto aleatorio, dado que las varianzas no eran homogéneas. El efecto de los tratamientos sobre el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades se evaluó a través del análisis de varianza para medidas repetidas en el tiempo. El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento, se analizó con ANOVA general. Cuando los test de F indicaban diferencias significativas ($P \leq 0.10$), las medias se compararon con el test de Fisher de la mínima diferencia significativa (LSD por su sigla en inglés). Los análisis estadísticos se realizaron con Genstat 14th edition (VSN International Ltd., Lawes Agricultural Trust, U.K.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los manejos que incluyen cultivo de cobertura, mantienen cubierto el suelo durante todo el año ya sea por residuos (Fig. 1a), o por vegetación (Fig. 1b).

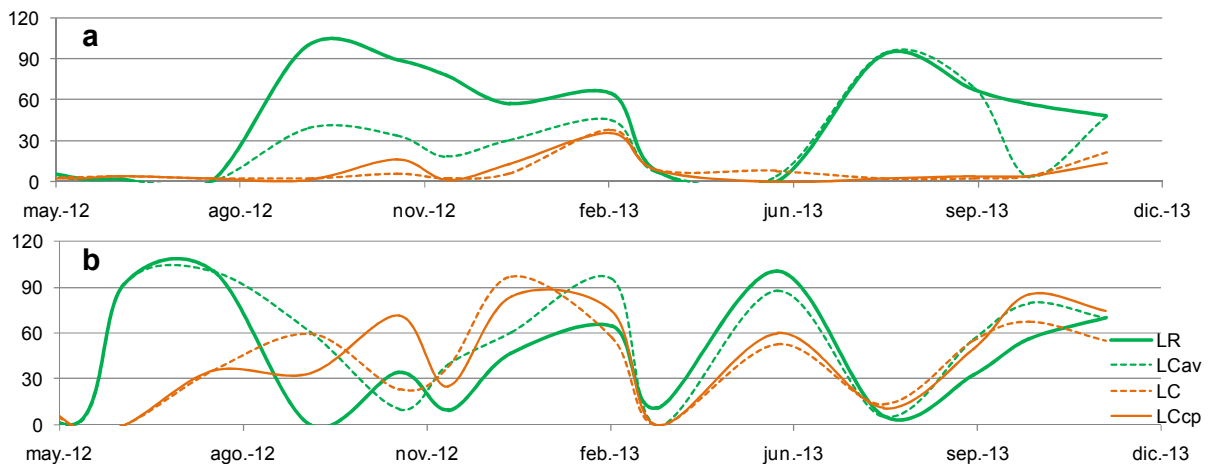


Fig. 1 Porcentaje de cobertura por residuos (arriba) y por vegetación (debajo) bajo cuatro manejos de suelo desde la implantación de cultivos de cobertura en otoño del 2012 hasta la cosecha de la cebolla en 2013.

La mayor cobertura del suelo le da al mismo mayor resistencia a la degradación y erosión a lo largo del tiempo, además repercute en un aumento de la infiltración de agua, y por tanto mayor captura de agua en el suelo (Alliaume et al., 2014; Boulal et al., 2008; Scopel et al, 2004). El LR tuvo un efecto significativo en el escurrimiento de una parcela hortícola cultivada en camellones (Fig. 2). El escurrimiento total acumulado durante el cultivo de maíz fue 10 mm menos bajo LR que bajo LC, y durante el cultivo de cebolla fue 20 mm menos bajo LR que bajo LC y LCcp (Fig. 2). La mediana y el cuartil máximo de la relación escurrimiento / precipitación de todos los eventos medidos fue de 0.03, 0.15 bajo LR; 0.14, 0.33 bajo LCav; 0.12, 0.24 bajo LC; y 0.15, 0.27 bajo LCcp.

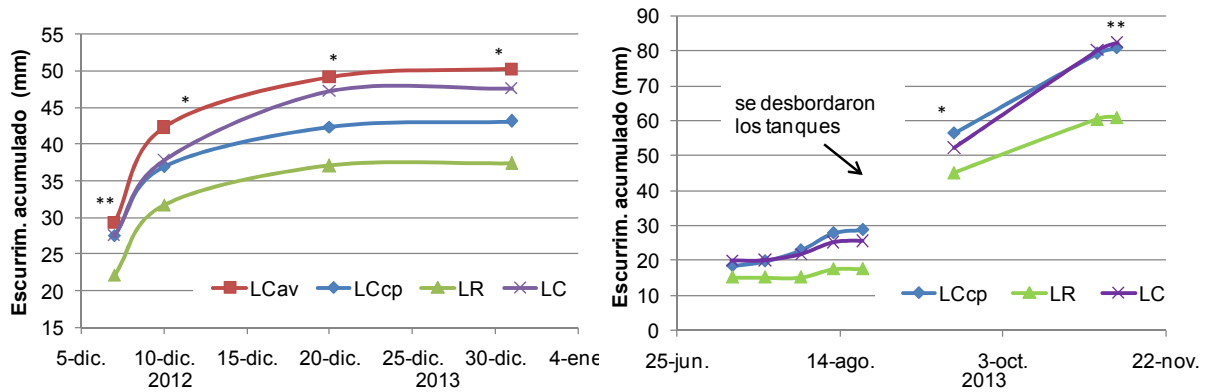


Fig. 2 Escurrimiento acumulado durante el cultivo de maíz (izquierda) y durante el cultivo de cebolla (derecha) bajo cuatro manejos de suelo: Laboreo Reducido con cultivo de cobertura dejado como mulch (LR), y Laboreo Convencional (LC) con cultivo de cobertura incorporado al suelo (LCav), con cama de pollo (LCcp), y con fertilización sólo química (LC). Los asteriscos muestran dónde hubo diferencias significativas (* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$).

Esta mayor captura de agua en el suelo se tradujo en un mayor contenido de agua en varias de las fechas evaluadas. Durante el cultivo de maíz, bajo laboreo reducido, los primeros 20 cm del suelo se mantuvieron con un contenido de humedad promedio de 10 mm más que los manejos con laboreo convencional. Al considerar hasta los 55 cm observamos que la diferencia se da al comparar entre LR y los manejos que no incorporaron cultivo de cobertura (Fig. 3a), habiendo un promedio de 17 mm más de humedad bajo LR que bajo el promedio de LC y LCcp.

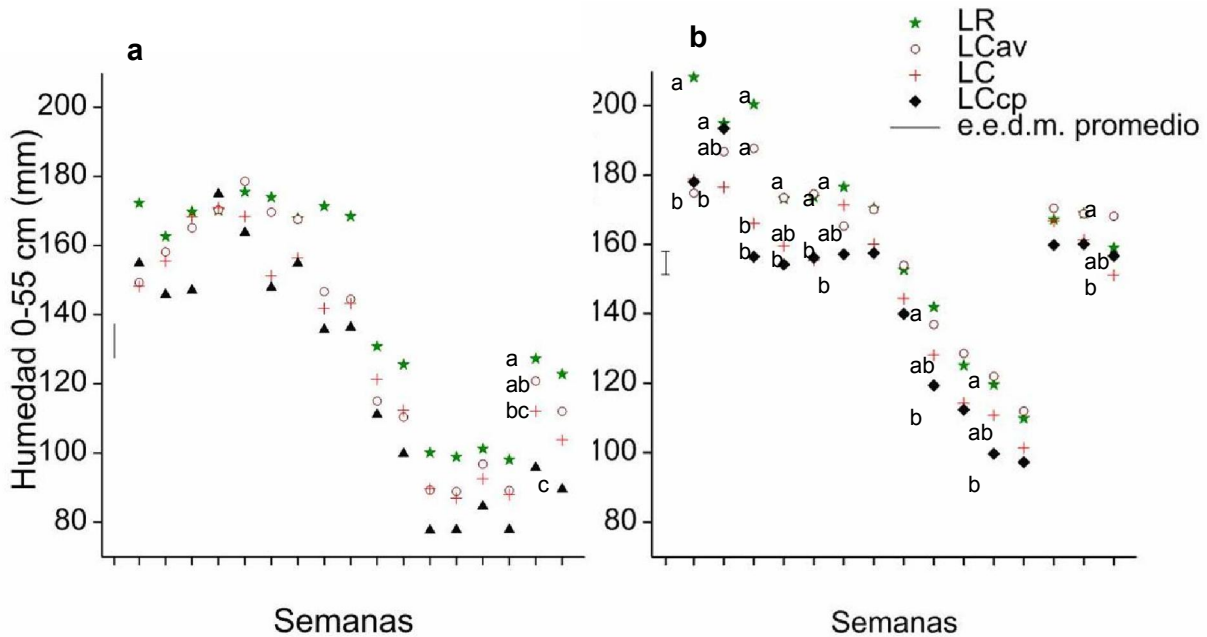


Fig. 3 Contenido de agua en el suelo de 0-55 cm monitoreado semanalmente durante el cultivo de maíz (a) y cebolla (b) e.e.d.m = error estándar de la diferencia entre medias. Letras diferentes muestran diferencias significativas en la serie de mediciones en el cuadro de la izquierda (no hubo interacción semana * tratamiento), y fecha a fecha en el cuadro de la derecha (sí hubo interacción semana * tratamiento) (separación por diferencia mínima significativa, $p < 10\%$).

Durante el cultivo de cebolla, bajo los tres manejos, LR, LCav y LC, el contenido de agua fue similar, y los primeros 20 cm del suelo se mantuvieron con un contenido de humedad promedio de 4 mm más que el laboreo convencional con cama de pollo LCcp. Al considerar hasta los 55 cm observamos que, si bien las diferencias significativas varían con la fecha de medición, en promedio bajo los tratamientos que incorporaron cultivo de cobertura hubo más humedad (13 mm más en promedio) que bajo los que no incorporaron cultivo de cobertura (Fig. 3b).

La capacidad del suelo de retener agua en el camellón, se incrementó en promedio 1,8 mm/10 cm de suelo en los manejos LR y LCcp respecto a los otros dos manejos ($p < 0,05$). El contenido de agua en equilibrio a 100 cm (retención de agua a capacidad de campo) bajo LR y LCcp fue de 33,9 mm/10cm en promedio, mientras que bajo LC y LCav fue de 32,1 mm/10cm en promedio. Esto se asocia en parte a un aumento, en el corto plazo del contenido de carbono total del suelo, hecho que también ocurrió bajo el manejo LCav, aunque no se reflejó en un aumento en la capacidad de retención de agua, posiblemente debido a que en este tratamiento se observó una tendencia a presentar menor densidad aparente.

El aumento en la humedad del suelo bajo LR y en ocasiones bajo LCav no se vio reflejado en el rendimiento de los cultivos comerciales, y aunque no significativamente, se constata una tendencia a mayores rendimientos en el tratamiento LCcp (Fig. 4).

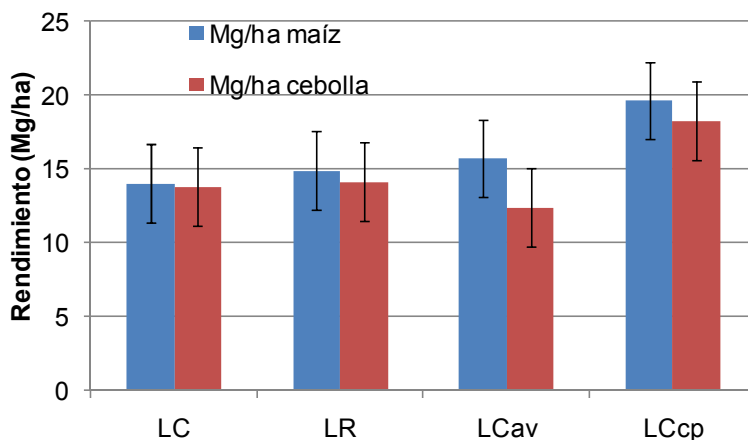


Fig. 4 Rendimiento comercial de los cultivos de maíz dulce y cebolla para los cuatro manejos de suelo. Las barras muestran el error estándar de la diferencias ente tratamientos para un mismo cultivo.

En cuanto al aporte de nitrógeno, no se vieron diferencias de nitrato ni amonio en el suelo tanto a la siembra como en floración de maíz. Previo a la siembra de cebolla, el manejo con avena incorporada (LCav) presentó menos amonio (28,4ppm) que el manejo con cama de pollo (LCcp) (37,5 ppm), pero en todos los casos se fertilizó para compensar las extracciones del cultivo. En el primer muestreo de maíz (21 de diciembre) no hubo diferencias en la concentración de N foliar. Sin embargo, en el segundo muestreo de maíz (el 8 de enero), la concentración foliar de N descendió en todos los tratamientos y sí se detectó mayor contenido de nitrógeno foliar bajo LCcp (1,83%) que bajo el resto de los manejos (1,53% en promedio). En cebolla no hubo diferencias en el contenido de nitrógeno foliar.

Podría pensarse que la tendencia al menor rendimiento bajo LR podría deberse a mayor compactación, sin embargo esto no se constató con los datos de densidad aparente, que no

difirieron entre los manejos probados. Una posible razón para explicar la tendencia al mayor rendimiento bajo LCcp es que al aplicar la cama de pollo previo al cultivo comercial se ajustó mejor el momento de liberación-absorción de nutrientes, incluyendo todos los nutrientes vegetales, pues, además de los tres esenciales, también contienen magnesio, calcio, azufre y varios micronutrientes (Barbazán et al, 2011). Sin embargo, el uso prolongado o en dosis elevadas es capaz de incrementar la salinidad edáfica, elevar el pH y aumentar la concentración en el suelo de fosfatos, nitrato, amonio y otros iones tóxicos. En nuestro trabajo, la cama de pollo, aún usada en dosis relativamente bajas (7Mg/ha/año), luego de 4 años ya causó una acumulación que va en el orden 1,7 veces más P (Bray 1) bajo los tratamientos LR, LCav y LCcp (127 ppm promedio) que bajo el tratamiento LC(73 ppm) en donde no se usó cama de pollo.

CONCLUSIONES

El laboreo reducido con cobertura contribuyó a conservar el agua en el suelo, disminuir el riesgo de erosión y el escurrimiento, y aumentar la capacidad de retención de agua en suelos degradados usados típicamente para horticultura en el sur de Uruguay. Probamos que el laboreo reducido en combinación con mulch orgánico en cultivos en camellones es una alternativa factible para reducir el escurrimiento y aumentar la infiltración, lo que es de especial interés para los pequeños productores que, por tema de escala, no pueden incluir en la rotación una fase de pastura. La mayor infiltración se tradujo en una mayor captura de agua en el suelo, observándose en el cultivo de verano un promedio de 10 mm más agua bajo LR que bajo los laboreos convencionales. Para ambos cultivos comerciales el rendimiento tendió a ser mayor bajo LCcp. En estos dos últimos cultivos comerciales se logró una buena implantación de los cultivos comerciales bajo los cultivos de cobertura, dificultad que se había obtenido años anteriores y que se habían asociado a menores rendimientos bajo estos tratamientos al compararlo con LCcp. Si bien se tuvieron precauciones en cuanto al aporte de nitrógeno y no hubo diferencias en el suelo, el cultivo de maíz logró extraer más N bajo el manejo LCcp que bajo los otros manejos. Futuras investigaciones deberían enfocarse en analizar las causas de estas diferencias así como otras posibles diferencias nutricionales. Además se resalta la necesidad de buscar alternativas de manejo que disminuyan el uso de cama de pollo para evitar futuros efectos adversos debido a la alta concentración de algunos elementos como el fósforo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alliaume, F., Rossing, W.A.H., Tittonell, P., Jorge, G., Dogliotti, S., 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 183, 127– 137.
- Alliaume, F., Rossing, W.A.H., García, M., Giller, K.E., Dogliotti, S., 2013. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. *Eur. J. Agr.* 46,10-19.
- Arbolea, J., Gilsanz, J.C., Alliaume, F., Leoni, C., Falero, M., Guerra, S., 2012. Minimum Tillage and Vegetable Crop Rotation. In: *Proceedings of the 19th ISTRO Conference, Montevideo*, pp. 6270.
- Barbazán M., del Pino A., Moltini C., Hernández J., Rodríguez J.; 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 15(1), 82-92.
- Blake, G.R., Hartge, K.H. 1986. Bulk Density, in A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.), pp. 363-375.
- Boulal, H., Gómez-Macpherson, H., Gómez, J.A., 2008. Water infiltration and soil losses in a permanent bed irrigated system in southern Spain. *Ital. J. Agron.* 3, 45–46.
- Dogliotti, S., 2003. Exploring options for sustainable development of vegetable farms in South Uruguay. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Giménez, A., Lanfranco, B., 2012. Adaptation to climatic change and variability: some response options to agricultural production in Uruguay. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3, 611-620.
- Luna, J.M., Mitchell, J.P., Shrestha, A., 2012. Conservation tillage for organic agriculture: Evolution toward hybrid systems in the western USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27(1), 21-30.
- Johnson, A.M., Hoyt, G.D., 1999. Changes to the Soil Environment under Conservation Tillage. *Hortechonology* 9(3), 380-393.
- Righi E., Dogliotti, S., Stefanini, F.M., Pacini, G.C., 2011. Capturing farm diversity at regional level to up-scale farm level impact assessment of sustainable development options. *Agr. Ecosyst. Environ.* 142, 63-74.

Scopel, E., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Affholder, F., Maraux, F., 2004. Modeling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semiarid and humid tropical conditions. *Agronomie* 24, 383-395.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la CSIC y la ANII. Agradecemos a Dana Montedónico, José Pedro dieste, Víctor Ferreira y Oscar Costa, funcionarios del CRS, así como a Andrés Beretta, Gustavo Olivera, Mario Michelazzo y Marcelo Pérez, colegas del grupo de suelos de la Facultad de Agronomía por su apoyo en las tareas de campo.