

ESTRUCTURA DEL RASTROJO Y AGUA DISPONIBLE BAJO SIEMBRA DIRECTA EN EL SEMIÁRIDO AUSTRAL PAMPEANO

Luciano Zubiaga ^{1*}, Juan Vanzolini ¹, Luciana Dunel ¹, Romina Storniolo ¹, Diego Ombrosi ¹, Miguel Cantamutto ¹, Juan Galantini ²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

² Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida – Universidad Nacional del Sur. Argentina

RESUMEN

Los procesos importantes relacionados con la dinámica del agua ocurren principalmente en la interfase suelo-atmósfera. La estructura de la cobertura de rastrojos de cultivos, tanto por cantidad como su distribución, tiene efecto sobre el microclima de la superficie del suelo y, en consecuencia, en el grado de conservación del agua. El objetivo de este trabajo fue evaluar algunos cambios en la interfase suelo-atmósfera y su impacto sobre el agua del suelo con diferentes estructuras de los residuos de cosecha. La experimentación se realizó en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Hilario Ascasubi, Villarino, Buenos Aires. Se evaluaron tres cereales invernales (trigo, centeno y avena) como antecesores del trigo entre junio del 2017 y diciembre de 2020, es decir, dos ciclos consecutivos de rotaciones agrícolas bianuales con cereales invernales. Se evaluó la estructura del rastrojo al final del barbecho a partir de la biomasa seca, su distribución por estratos y el índice de área del tallo. Además, se determinó la temperatura del suelo, velocidad relativa del viento y la dinámica del agua en el barbecho. Los cultivos de invierno antecesores y principalmente la disposición del rastrojo, presentaron diferencias en el aporte de biomasa y la estructura de la cobertura, asimismo se logró similar porcentaje de cobertura. Se observaron diferencias en el impacto de la disposición del rastrojo sobre la temperatura del suelo y velocidad del viento, pero no así por los antecesores. Esto modificó la eficiencia de barbecho, la humedad a la siembra del cultivo posterior y la evolución de la humedad del suelo hasta 13 días posteriores a un evento de precipitación. La disposición del rastrojo y los antecesores impactaron en los factores que componen la interfase suelo-atmósfera y, en consecuencia, en la dinámica del agua en el suelo.

Palabras clave: Cultivos de invierno, interfase suelo-atmósfera, conservación del agua, Hilario Ascasubi.

STUBBLE STRUCTURE AND AVAILABLE WATER UNDER NO-TILLAGE IN THE SEMI-ARID SOUTHERN PAMPEAN REGION

ABSTRACT

Critical processes related to water dynamics occur mainly at the soil-atmosphere interface. The structure of crop stubble cover, both in quantity and distribution, affects the soil surface microclimate and, consequently, on the degree of water conservation. The aim of this work was to evaluate changes in the soil-atmosphere interface and their impacts on soil water as affected by different crop residue structures. The experiment was carried out at the Experimental Station of the National Institute of Agricultural Technology in Hilario Ascasubi, Villarino, Buenos Aires. Three winter cereals (wheat, rye, and oats) were evaluated as preceding crops of wheat from June 2017 to December 2020, that is, two consecutive cycles of biannual agricultural rotations with winter cereals. Dry biomass quantification, its distribution by strata, and the stem area index were used to evaluate stubble structure at the end of fallow. In addition, soil temperature, relative wind speed, and water dynamics in the fallow were determined. Although preceding winter crops and

* Autor de contacto:
zubiaga.luciano@inta.gob.ar

Recibido:
20-12-22

Recibido con revisiones:
11-05-23

Aceptado:
11-05-23

mainly their stubble arrangement showed differences in biomass contribution and cover structure, similar soil cover was achieved. Soil temperature and wind speed were affected by stubble arrangement but were unaffected by the preceding crop. Stubble arrangement modified fallow efficiency, moisture at seeding of the subsequent crop, and soil moisture evolution up to 13 days after a rainfall event. The stubble arrangement and winter cereal preceding crops impacted on the soil-atmosphere interface and, consequently, on soil water dynamics.

Keywords: Winter crops, soil-atmosphere interface, water conservation, Hilario Ascasubi.

INTRODUCCIÓN

En zonas semiáridas de secano, el agua es un recurso escaso que proviene únicamente de las precipitaciones. Las deficiencias hídricas son frecuentes y, en ocasiones, acentuadas por las limitaciones en su gestión (Madurga, 2005). Los procesos relacionados con la dinámica del agua ocurren principalmente en la zona de contacto entre el suelo y la atmósfera, denominada interfase suelo-atmósfera (Kruger et al., 2014; Quiroga et al., 2018; Steiner & Schomberg, 1996).

La cobertura de rastrojos de cultivos en la superficie del suelo tiene efectos importantes sobre el microclima de esta interfase: amortigua el impacto de las gotas de la lluvia, reduce la velocidad del viento, influye en los flujos de balance de radiación y energía; y altera las tasas de transferencia de calor y de agua en la superficie del suelo, es decir, los tiempos de secado (Wilhelm et al., 2004). Como consecuencia, la presencia de rastrojos de cultivos en la superficie del suelo tiene un impacto significativo sobre la infiltración, la reducción de la evaporación luego de los eventos de lluvia y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Monzon et al., 2006; Rillo, 2012; Swella et al., 2015).

El grado de cobertura del suelo por material senescente se define en función de la cantidad de biomasa y de la disposición de los residuos vegetales o estructura de los rastrojos. La cobertura puede modificar el microclima de la superficie y, en consecuencia, impactar en el grado de conservación del agua (McMaster et al., 2000; Sharratt, 2002). Quiroga et al. (2005) define valores entre 1,4 a 9,4 Mg ha⁻¹ de rastrojo en superficie para considerar que los niveles de cobertura son bajos o altos, respectivamente. Con bajos niveles de cobertura se observó un menor almacenaje de agua y menor disponibilidad de nitrógeno. Además, estos autores comprobaron la influencia del nivel de cobertura durante el barbecho sobre la temperatura del suelo, principalmente en el periodo de mayores temperaturas (diciembre y enero). Unger (1978) demostró que, con altos niveles de cobertura, entre 8 y 12 Mg ha⁻¹ de rastrojos, se observó un incremento significativo del almacenaje de agua en el suelo.

La cantidad de biomasa por unidad de superficie se encuentra conformada por los estratos inferior y superior, es decir, la proporción de rastrojo en contacto o erguido sobre la superficie del suelo, respectivamente (Kruger y Quiroga, 2013). A igual biomasa total, las distintas combinaciones de los estratos pueden determinar modificaciones en la interfase suelo-atmósfera y en la dinámica del agua.

Según McMaster et al. (2000) la estructura del rastrojo se encuentra definida por el altura, diámetro y número de vástagos o tallos por unidad de superficie. El factor de silueta o índice de área de tallo (IAT) define la zona de silueta a través de la cual debe pasar el viento. Este índice define, por un lado, el microclima de la interfase suelo-atmósfera determinando las pérdidas de agua por evaporación. Por el otro, la velocidad de fricción relativa (RFV), es decir, el grado de exposición o pérdida potencial del suelo por la acción del viento y el potencial de evaporación. Al aumentar la altura, el número tallos en superficie o ambos, se reduce la fuerza erosiva del viento, y disminuye el potencial de evaporación por la desaceleración del intercambio de vapor convectivo y la absorción de energía radiante (McMaster et al., 2000).

La estructura del rastrojo se encuentra afectada mediante la disposición u orientación del rastrojo, es decir, sea de manera horizontal y/o vertical. El rastrojo dispuesto en una posición horizontal puede restringir las pérdidas por evaporación y, a la vez, tener efecto directo sobre la temperatura del suelo (Flerchinger et al., 2003). Passioura and Angus (2010) mencionan que, al aplanar el rastrojo se rompe la continuidad de la vía de pérdida de humedad del suelo a través del xilema de las raíces muertas y los tallos. Por su parte, el rastrojo vertical tiende a elevar o desplazar el nivel de velocidad del viento cercana a cero, aumentando la rugosidad aerodinámica. Es decir, puede reducir en más del 70 % la velocidad del viento en la superficie del suelo y el intercambio convectivo de calor y vapor de agua, disminuyendo la pérdida de agua por evaporación (Aiken et al., 2003).

Cuando llueve, el rastrojo intercepta y regula la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo. Este proceso de amortiguación depende de la intensidad y duración del evento de lluvia, la evaporación potencial, tipo de cultivo y estructura del rastrojo (Kozak et al., 2007). Durante un evento pluviométrico menor, una cantidad significativa de agua es interceptada por los rastrojos y se evapora directamente a la atmósfera sin llegar al suelo (Sommer et al., 2012). En eventos de precipitación más importantes, el agua logra atravesar el rastrojo e infiltra en el perfil del suelo y permanece almacenada en el suelo bajo la protección de la cobertura (Flerchinger et al., 2003). Por lo tanto, la pérdida de agua por intercepción dependerá tanto de la cantidad e intensidad de la lluvia como también de la estructura del rastrojo y las condiciones meteorológicas que controlan la evaporación durante y después de la precipitación (Kozak et al., 2007). El rastrojo reduce la velocidad de evaporación más eficazmente al principio del ciclo de secado, cuando la superficie del suelo está mojada, prolongando la duración de esta etapa (Bond & Willis, 1970).

El barbecho es un componente estratégico que permite almacenar y conservar en el suelo, el agua aportada por lluvias ocurridas fuera del ciclo del cultivo (Passioura & Angus, 2010). El semiárido austral se caracteriza por una gran variabilidad climática y la escasez de precipitaciones, presentando una marcada deficiencia hídrica durante el verano, lo que determina una producción agrícola limitada a cereales invernales como el trigo, avena y centeno. Asimismo, tradicionalmente se realiza el monocultivo de trigo en una rotación corta donde se alterna con un año de descanso, y generalmente se sobrepastorean los rastrojos (Iurman, 2009). Por lo tanto, el barbecho previo a la siembra del trigo suele ser largo, con una extensión de hasta diez meses (agosto a mayo), resultando un proceso crucial para la conservación del agua. Las altas temperaturas estivales se combinan con la acción de los vientos secos, cuya mayor frecuencia y velocidad provocan un aumento en la evaporación, lo que ocasiona situaciones de déficit hídrico (Scherger et al., 2012). Entre un 50 y 80 % del agua se pierde por evaporación directa desde el suelo (Holman et al., 2016; Passioura & Angus, 2010; Quiroga et al., 2005).

Una mejor comprensión de los efectos de la estructura de los rastrojos de cereales invernales sobre la pérdida de agua por evaporación directa puede brindar información útil para diseñar las estrategias de manejo orientadas a mejorar la conservación del agua del suelo. Se estimó que la estructura y disposición del rastrojo de los cereales invernales modificaría la incidencia del viento y la temperatura en la interfase suelo-atmósfera y ello se vería reflejado en la dinámica del agua en el suelo durante el barbecho. La hipótesis planteada fue que el cereal antecesor (trigo, centeno y avena) y la disposición de los residuos vegetales (horizontal, vertical y pastoreo) determinan la estructura del rastrojo, modificando la incidencia de la radiación y esto la temperatura del suelo, y el viento y, en consecuencia, el contenido agua edáfica durante el barbecho para el cultivo de trigo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto de tres cultivos antecesores (trigo, centeno y avena) y cambios en la disposición de los residuos vegetales (horizontal, vertical y pastoreo) sobre los componentes estructurales de la cobertura del suelo con rastrojo durante el barbecho para trigo y cuantificar su efecto sobre la temperatura y el viento en la interfase suelo-atmósfera, y en el contenido de agua edáfica durante el barbecho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La experimentación se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Hilario Ascasubi (39°24'36,4''S; 62°38'30,1''O), partido de Villarino, provincia de Buenos Aires. Climáticamente se trata de una región semiárida. Según el sistema de Thornthwaite el área de estudio se clasifica como semiárido mesotermal (Sánchez et al., 1998).

La temperatura media anual varía entre 14,0 y 18,0 °C, con registros extremos de 1,6 °C de temperatura media mínima para julio y 30,0 °C de temperatura media máxima para el mes de enero; presentando una relación inversamente proporcional con el aumento de la latitud. Debido a la fuerte influencia marítima, el período anual libre de heladas es superior a 240 días en el este del territorio. Este valor se reduce a menos de 220 días hacia el Meridiano V, donde las condiciones son marcadamente continentales (Sánchez et al., 1998). D'amico et al. (2016) determinaron, mediante el atlas solar de la NASA (2016), un promedio anual de radiación incidente de 4,6 Kwh m² por día, con valores máximos en diciembre (7,2 Kwh m² por día) y mínimos en junio (1,9 Kwh m² por día).

Los vientos predominantes son del cuadrante noroeste en otoño e invierno, mientras que en primavera se

reduce la influencia de los vientos del oeste para comenzar a tener un predominio del sudeste al nordeste en verano. Por lo tanto, se presentan cálidos y secos en el período en que habitualmente se realiza el barbecho. La velocidad del viento media anual varía de 11,8 a 14,6 km h⁻¹ (vientos leves), con registros mayores a 50 km h⁻¹ (vientos fuertes). Es decir, se trata de una región ventosa que por la predominancia de los suelos de textura gruesa presenta un escenario propenso a la erosión eólica, intensificada en los períodos de sequía al disminuir la presencia de cobertura vegetal natural (Sánchez et al., 1998).

La mayor ocurrencia de precipitaciones se produce entre los meses de febrero-marzo y septiembre-octubre, mientras que los menores registros pluviométricos ocurren en junio-julio (promedio histórico 1966-2021; G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2022). La precipitación total anual varía en dirección NE-SO, entre las isohietas de 600 mm al norte del partido de Villarino y 350 mm al sur en el partido de Patagones (Pérez et al., 2003). Esto se refleja en una progresiva aridez que alcanza rasgos netamente patagónicos en las proximidades del río Negro. La evapotranspiración potencial, según el método Penman, es de 1135 mm anuales para Hilario Ascasubi (entre 33 y 180 mm en junio y enero, respectivamente), originando un balance hídrico negativo durante gran parte del año estimado en 322 mm anuales (Sánchez et al., 1998). Algunos sectores del sudeste de las planicies están beneficiados por la influencia marítima que aminora este déficit hídrico (Bohn et al., 2014). Por lo tanto, la escasez y variabilidad en la cantidad y distribución de las lluvias es un factor limitante clave en la producción agropecuaria en la región.

En general predominan suelos Haplustoles y Calcistoles con textura franco-arenosa, muy sueltos, de escasa diferenciación entre horizontes, susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Sánchez et al., 1998; Soil Survey Staff, 2022). Los niveles de materia orgánica en promedio se encuentran cercanos a 10 g kg⁻¹ y rara vez superan valores de 20 g kg⁻¹. Los niveles de fósforo disponible (Bray & Kurtz, 1945) oscilan entre 5 y 30 mg kg⁻¹, aunque en áreas de monte nativo estos valores podrían superar los 50 mg kg⁻¹. El suelo del ensayo fue un Haplustol éntico, de textura arenosa franca. La caracterización fisicoquímica del suelo indicó que se trataba de un suelo representativo de las condiciones regionales del semiárido (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización química y física del estrato superficial de suelo (0-20 cm) del sitio experimental.

Table 1. Chemical and physical characterization of the surface soil layer (0-20 cm) of the experimental site.

MO	pH	CE	Pe	Nt	A	L	Ar	Clase textural	IMO
g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹					
12,5	7,4	0,64	15	0,8	5	14	81	Arenoso Franco	7

MO: materia orgánica, escala semimicro (Walkley & Black, 1934); pH: contenido de iones hidrógeno (acidez / alcalinidad), potenciometría; CE: conductividad eléctrica, conductimetría; Pe: fósforo extraíble (Bray y Kurtz, 1945); Nt: nitrógeno Kjeldahl, escala semimicro (Bremner, 1996); A: arcilla, hidrómetro de Bouyoucos; L: limo, hidrómetro de Bouyoucos; Ar: arena, separación gravimétrica; IMO: indicador de la relación entre la materia orgánica y la fracción arcilla + limo. Método del hidrómetro de Bouyoucos (1962), modificado por Red de Laboratorios INTA de Suelos, Agua y Material Vegetal (RILSAV).

Descripción del ensayo

Se evaluaron tres cereales invernales como antecesores del trigo (*Triticum aestivum* L., cultivar Buck Meteoro): trigo (cultivar Buck Meteoro), centeno (*Secale cereale* L., cultivar Don José INTA) y avena (*Avena sativa* L., cultivar Florencia INTA). La experimentación, realizada durante junio del 2017 a diciembre de 2020, presentó dos ciclos consecutivos de rotaciones agrícolas bianuales con cereales invernales (Figura 1).

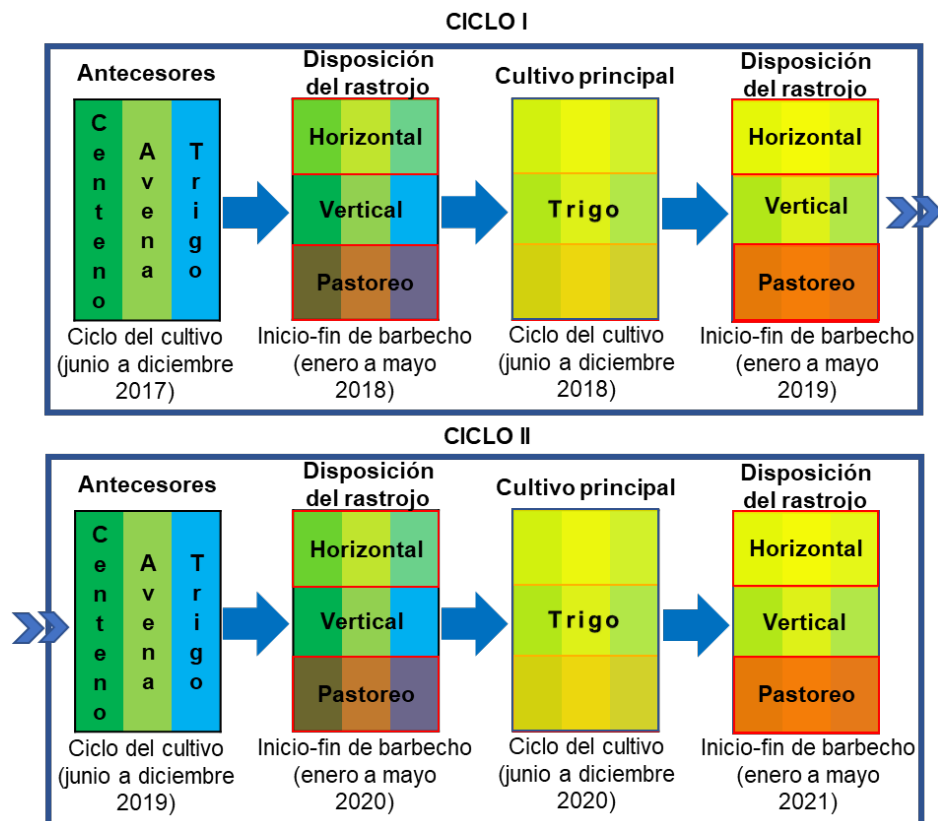


Figura 1: Esquema representativo de las etapas de cada ciclo experimental realizadas en un bloque (diseño de 3 bloques completos divididos). Las disposiciones del rastrojo corresponden a una repetición dentro de cada bloque.

Figure 1: Schematic representation of the stages of each experimental cycle carried out in one block (3 split complete blocks design). The stubble arrangements correspond to repetitions within each block.

Ciclo I: En el primer ciclo los tres antecesores se sembraron el 13 de junio de 2017, en líneas a 17,5 cm (Bertini modelo 8000) con una densidad objetivo de 200 plantas m^{-2} , regulada según el valor cultural de la semilla. Se fertilizó con 80 $kg\ ha^{-1}$ de fosfato di amónico (PDA, grado 18-46-0) a la siembra y 50 $kg\ ha^{-1}$ de urea (grado 46-0-0) al macollaje. Durante el macollaje se realizó el control químico de malezas aplicando 300 $cm^3\ ha^{-1}$ de 2,4-D (890 $g\ L^{-1}$), 100 $cm^3\ ha^{-1}$ de Dicamba (480 $g\ L^{-1}$) y 5 $g\ ha^{-1}$ de Metsulfurón (600 $g\ kg^{-1}$). La cosecha se realizó el 20 de diciembre de 2017 mediante una máquina comercial (Vassalli 900), ajustando la altura de corte de la plataforma en función de la altura del cultivo y del despeje de la estructura reproductiva: espiga (centeno, trigo) o panoja (avena). Es decir, se cortó a dos tercios de la altura promedio de cada cultivo, como criterio de la máxima eficiencia en la cosecha del grano. Los tres antecesores se cosecharon la misma fecha a pesar de que la avena presentó un ciclo más corto que trigo y centeno (15 días menos). La cosechadora dejó un remanente de rastrojo representativo de los cultivos cada especie. La máquina utilizada, contaba con desparramador de paja para lograr dispersar el rastrojo sobre el suelo, pero a pesar de ello se observó una mayor acumulación de la biomasa en el centro de la cola de la máquina.

El período de barbecho se inició inmediatamente luego de cosechados los cereales invernales. Desde el inicio del barbecho se configuraron tres sub-tratamientos de disposición del rastrojo. La configuración vertical consistió en preservar el rastrojo en estado natural desde finalizada la cosecha sin intervenciones posteriores. La configuración horizontal se logró solamente aplastando el rastrojo contra la superficie del suelo mediante un rolo desterrador de arrastre (sin cuchillas) conformado por tres cuerpos en tándem; con 3,5 m de ancho, 0,5 m de diámetro y 140 kg por cuerpo, que se hizo circular a una velocidad de trabajo de 8 $km\ h^{-1}$. El pastoreo mecánico se realizó mediante una cosechadora de forraje que extrajo el material vegetal remanente del cultivo. El barbecho se mantuvo libre de malezas mediante dos aplicaciones de glifosato con una dosis de 2 $L\ ha^{-1}$ del producto comercial (662 $g\ L^{-1}$).

Al finalizar el barbecho se sembró trigo el 22 de junio de 2018 empleando la misma densidad de siembra y esquema de fertilización que en los antecesores. En el estado de macollaje se realizó el control de malezas aplicando 400 cm³ ha⁻¹ de 2,4-D (890 g L⁻¹) y 6 g ha⁻¹ de Metsulfurón (600 g kg⁻¹). Se aplicó el mismo criterio y máquina cosechadora que el año anterior para la cosecha del cultivo de trigo.

El barbecho para el cultivo de los antecesores se inició inmediatamente luego de la cosecha el 19 de diciembre de 2018. El rastrojo del trigo recibió los mismos procesamientos que para los antecesores, para lograr las disposiciones vertical, horizontal y pastoreo, descritos anteriormente. Durante el barbecho las malezas se controlaron con dos aplicaciones de glifosato a razón de 2 L ha⁻¹ del producto comercial (662 g L⁻¹).

Ciclo II: Este ciclo se realizó repitiendo el mismo manejo, tratamientos y subtratamientos aplicados en el Ciclo I. Los tres antecesores se sembraron el 11 de junio de 2019 y la cosecha se realizó el 19 de diciembre de 2019. El cultivo de trigo principal se sembró el 9 de junio de 2020 y la cosecha se realizó el 22 de diciembre de 2020.

El diseño utilizado fue en Bloques Completos divididos (Strip-Plot). Se realizaron tres bloques y dentro de cada bloque los tratamientos de antecesores (trigo, centeno y avena) fueron dispuestos en unidades experimentales (UE) de 1800 m² (100 x 18 m). Luego de la cosecha (al inicio del barbecho) y de manera perpendicular a la dirección de los antecesores, en cada bloque se establecieron tres repeticiones de los subtratamientos que modificaron la disposición de los rastrojos (horizontal, vertical y pastoreo). Las mismas conformaron subunidades experimentales (subUE) con un área de 54 m² (18 x 3 m). Por lo tanto, consiste en un arreglo factorial (antecesor*disposición del rastrojo) con 27 unidades experimentales en cada bloque, es decir, 81 en total.

Las variables evaluadas en los diferentes tratamientos fueron analizadas con el análisis de la varianza (ANOVA), separando el Ciclo I del Ciclo II. Los efectos principales correspondieron a los antecesores y los secundarios a las disposiciones del rastrojo. Luego se comparó las medias mediante la prueba LSD Fisher (P<0,05). Se efectuó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con los datos estandarizados del promedio de las repeticiones en cada bloque de las variables del barbecho para trigo del Ciclo I. Se analizó la biomasa de rastrojo y el IAT al final del barbecho, la lámina de agua en 0-20 cm a la siembra del trigo y la temperatura de suelo, velocidad del viento y la eficiencia de barbecho durante el barbecho. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Mediciones y cálculos de las variables de la interfase suelo-atmósfera

El muestreo y las evaluaciones se realizaron evitando sectores con notoria recarga de material muerto, para minimizar el efecto de la desuniformidad espacial en la distribución de rastrojo debido a la mayor acumulación de biomasa en el centro de la cola de la máquina cosechadora.

Estructura del rastrojo: La estructura del rastrojo se evaluó al final del barbecho sobre el rastrojo de los antecesores (Ciclo I y Ciclo II, por lo tanto, dos veces), es decir, antes de la siembra del trigo. Fue definida por los siguientes parámetros: la biomasa aérea seca (en ambos ciclos); distribución por estrato de la biomasa seca (solo en Ciclo II) y el índice de área del tallo (IAT, en ambos ciclos).

Se utilizó un marco de 0,25 m² dispuesto al azar con tres submuestras por UE. En cada parámetro, el resultado final por cada UE se obtuvo mediante el promedio de las tres submuestras.

Se recolectó el rastrojo y se llevó hasta peso seco mediante estufa (60° por 48 h), para estimar biomasa área por unidad de superficie (kg ha⁻¹). A su vez, solo en el Ciclo II se determinó la distribución por estrato del rastrojo, separando en estrato superior (ES), que consistió en el material vegetal que permanecía en pie o erguido sobre la superficie del suelo, y en estrato inferior (EI), que se encontraba acostado y en contacto con la superficie del suelo (Kruger y Quiroga, 2013). Esta subdivisión en ambos estratos tuvo como finalidad observar si se expresaban en mayor magnitud las diferencias en cuanto a los antecesores y disposiciones del rastrojo.

Se calculó el IAT mediante la ecuación [1] (McMaster et al., 2000):

$$IAT = dv \times hv \times N \quad [1]$$

IAT: índice de área de tallo (m² de vástagos m⁻² de suelo); dv: diámetro del vástago (m); hv: altura del vástago (m); N: número de vástagos m⁻².

El diámetro del tallo se determinó en la porción media de diez vástagos por submuestra, seleccionados al azar, utilizando un calibre digital. Luego, se determinó la altura del vástago, desde la base de los vástagos hasta el extremo superior de corte. La densidad de vástagos se determinó mediante conteo manual de los tallos delimitados por el marco.

Temperatura del suelo: Se registró la temperatura del suelo (T_s) a 0 (nivel de superficie), 5 y 10 cm de profundidad. Para la primera se utilizó un termómetro infrarrojo (Scout 1, I.R Thermometers, modelo INF155, emisividad fija de 0.95), ubicándolo a 10 cm y en perpendicular a la superficie del suelo. En las profundidades se utilizó un termómetro de pinche digital (Silcook, varilla de 12 cm de largo, rango de -50 a $\sim 300^\circ\text{C}$). La medición se realizó en simultáneo para la misma profundidad, considerando la estabilización del valor registrado, en todos los casos en la posición central de la entrelínea de cultivo. La T_s se registró durante el barbecho para trigo del Ciclo I (2018) en 12 oportunidades (5, 6, 8, 19, 21 y 22 de marzo; 10, 11, 16 de abril; y 15, 16 y 30 de mayo). Las mediciones se realizaron al final del barbecho debido a que este periodo otoñal se considera con mayor incidencia sobre el contenido hídrico del suelo a la siembra del cultivo subsiguiente. Las mediciones se realizaron en proximidades de las 15:00 h, coincidiendo con el horario de máxima temperatura ambiental (T_a) registrada en la Estación Meteorológica de la EEA INTA Hilario Ascasubi.

Se calculó la relación T_s/T_a mediante la ecuación [2] (Zhang, 2005):

$$T_s/T_a = \frac{T_s}{T_a} \quad [2]$$

T_s/T_a : relación entre T_s y T_a ; T_s : temperatura del suelo ($^\circ\text{C}$); T_a : temperatura ambiental ($^\circ\text{C}$).

Tanto en la T_s , como en la relación T_s/T_a se realizó un análisis independiente para cada fecha de observación, considerándose las tres profundidades por separado.

Velocidad relativa del viento: La velocidad del viento (V_v) durante el período de barbecho se midió a 0 (levemente sobre el nivel de superficie de suelo), 40, 90 y 200 cm de altura. Se empleó un anemómetro digital calibrado (Mastech, modelo MS6252B) fijado a un bastidor y orientado en dirección perpendicular al viento predominante. La altura máxima a 200 cm o velocidad del viento de referencia (V_{vref}) se corresponde con la medición registrada en la Estación Meteorológica de la EEA INTA Hilario Ascasubi, distante a 2400 m del sitio experimental. Las observaciones se realizaron durante el barbecho para trigo del Ciclo I (2018), el 14 y 30 de mayo, y el 7 de junio. Al igual que con la temperatura del suelo, las mediciones se realizaron al final del barbecho debido a que este periodo otoñal se considera con mayor incidencia sobre el contenido hídrico del suelo a la siembra del cultivo subsiguiente. En todos los casos las mediciones se realizaron en proximidades del mediodía (12:00 h). Los registros con el anemómetro a 200 cm eran similares a los registrados por la estación meteorológica en la misma hora.

Los registros de V_v registrados a 40 y 90 cm fueron divididos por el valor medido a 200 cm para obtener la relación entre las mismas. Con estos valores se graficaron los perfiles de V_v para cada tratamiento, según la ecuación [3] (McMaster et al., 2000):

$$V_v/V_{vref} = \frac{V_v}{V_{vref}} \quad [3]$$

V_v/V_{vref} : relación entre la velocidad del viento registrada y la velocidad de referencia a 200 cm; V_v : velocidad del viento registrada a diferente altura (km h^{-1}); V_{vref} : velocidad del viento de referencia registrada a 200 cm de altura (km h^{-1}).

Los días en que se realizaron las mediciones presentaron una condición de viento leve a moderado donde la V_v promedio fue de 13 km h^{-1} (máxima promedio 17 km h^{-1}) el 14 y 30 de mayo, 17 km h^{-1} (máxima promedio 23 km h^{-1}) el 7 de junio de 2018.

Tanto en la V_v , como en la relación V_v/V_{vref} se realizó un análisis independiente para cada fecha de observación, considerándose las tres alturas por separado.

Humedad del suelo: Los muestreos de suelo se realizaron previo a la siembra de los cultivos / final del barbecho y previo a la cosecha de los cultivos / inicio del barbecho en los cuatro ciclos agrícolas del Ciclo I y II. Por lo tanto, los muestreos incluyeron la combinación entre los tratamientos antecesores y los subtratamientos de disposición del rastrojo. En todos los casos se conformó una muestra compuesta de tres sub-

muestras extraídas al azar mediante un barreno acanalado, a las profundidades 0-20 (Ciclo I); 0-10, 10-20 (Ciclo II); 20-40; 40-60 y 60-90 cm (en ambos ciclos). En el Ciclo II se subdividió el estrato superior de suelo en 0-10 y 10-20 cm con la finalidad de observar si se expresaban en mayor magnitud las diferencias en cuanto a los antecesores y disposiciones del rastrojo. Se estimó la lámina de agua total del suelo (LAT) mediante la determinación de la humedad por el método gravimétrico, la densidad aparente por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y el espesor de muestreo. Para el cálculo de la densidad aparente extrajeron muestras sin disturbar, previo a la siembra, mediante cilindros de volumen conocido (4,7 cm de diámetro y 5 cm de alto, es decir, 86,75 cm³) a 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35 y 35-40 cm de profundidad.

La eficiencia de barbecho (EB) se calculó a partir de la relación entre el almacenaje de agua en el suelo y las precipitaciones ocurridas durante el período de barbecho, aplicando la ecuación [4] (Mathews & Army, 1960):

$$EB = \frac{LATf - LATi}{PP} \times 100 \quad [4]$$

EB: eficiencia de barbecho (%); LATi: lámina de agua total al inicio del barbecho (mm); LATf: lámina de agua total al finalizar el barbecho (mm); PP: precipitaciones (mm) acumuladas en el periodo de barbecho.

El uso consuntivo (UC) o agua consumida se calculó a partir del balance determinado por la diferencia entre el agua almacenada en el suelo al inicio y final del período de cultivo y de las precipitaciones, aplicando la ecuación [5]. Este método de cálculo asume escurrimiento cero (López & Arrúe, 1997).

$$UC = (LATi - LATf) + PP \quad [5]$$

UC: uso consuntivo (mm); LATi: lámina de agua total a la siembra de los cultivos (mm); LATf: lámina de agua total al finalizar el ciclo de crecimiento de los cultivos (mm); PP: precipitaciones (mm) acumuladas en el ciclo de crecimiento de los cultivos.

Evaluación de la dinámica del contenido de agua en el suelo luego de un evento de precipitación extrema.

Durante el barbecho con rastrojo de trigo del Ciclo I, previo a siembra de los antecesores del Ciclo II, se evaluó la dinámica de la LAT luego de un evento de alta precipitación (Swella et al., 2015; Zhai et al., 1990) de 17 h de duración. El evento tuvo su inicio la tarde del 15 de marzo de 2019, acumulando 109,6 mm con una intensidad promedio de 6,4 mm h⁻¹. Se considera un evento extremo ya que fue el único que superaba los 100 mm de precipitación a lo largo de la serie histórica de la EEA Hilario Ascasubi (1990-2019). Asimismo, en esta serie histórica se han registrado valores máximos por evento que van entre 20 y 86 mm (G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2022). La estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo se realizó utilizando muestras compuestas por tres subunidades, tomadas a 2, 4, 9, 11, 13, 16, 18, 20, 23, 30 y 38 días después del evento de precipitación (DDP). Durante los días 6 y 7, ocurrió un evento de precipitación menor que acumuló 7,6 mm.

Caracterización meteorológica durante el experimento

Las precipitaciones, temperatura, radiación, evapotranspiración y viento se registraron en la Estación Meteorológica de la EEA INTA Hilario Ascasubi, ubicada a 2400 m del sitio experimental (G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2022).

La precipitación anual promedio durante la experimentación fue 410 mm (entre 380 y 570 mm), representando una probabilidad de ocurrencia del 70 % (entre 80 y 20 %). En general, las lluvias fueron inferiores en verano, y en menor medida en el otoño, invierno y primavera, respecto al promedio histórico 1966-2021. Únicamente los meses de mayo y noviembre estuvieron por encima del promedio histórico, siendo dos meses claves. En mayo ocurre la recarga hídrica del perfil del suelo previo a la siembra de los cultivos de invierno, mientras que en noviembre tiene lugar la etapa del llenado del grano.

Las temperaturas medias se mantuvieron dentro del rango de variación observado en el histórico 1966-2021, es decir, un promedio anual de 15,5 °C (entre 8,0 y 22,7 °C). La evapotranspiración potencial, según el método Penman, fue de 1107 mm (entre 25 y 193 mm en junio y diciembre, respectivamente). La velocidad del viento media anual varió de 5,7 a 8,6 km h⁻¹, con registros máximos promedio entre 43,5 y 75,3 km h⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de la interfase suelo-atmósfera

Estructura del rastrojo - Biomasa seca aérea: Se observó interacción entre antecesor y disposición para la biomasa del rastrojo al finalizar el período de barbecho para trigo en ambos Ciclos ($P < 0,01$). Asimismo, se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) debidas a los efectos simples (antecesor y disposición) en ambos Ciclos. En los dos Ciclos, la biomasa total de rastrojo fue menor en el tratamiento pastoreado ya que extrajo en promedio un 70 % de la misma ($P < 0,05$; Figura 2). La biomasa total de rastrojo de centeno en el tratamiento vertical y horizontal fue superior ($P < 0,05$) al de trigo y avena. En el Ciclo I el trigo ocupó una posición intermedia ($P < 0,05$), aportando un 30 % menos de biomasa de rastrojo que el centeno, pero en el Ciclo II no hubo diferencias entre este y la avena, que aportaron menos de la mitad de biomasa de rastrojo que el centeno (Figura 2). En los dos Ciclos, el rastrojo de centeno dispuesto en forma horizontal presentó menor acumulación de biomasa seca residual respecto a la disposición vertical, pero fue superior al pastoreado ($P < 0,05$). Esto sugiere que bajo disposición horizontal ocurrió un incremento en la descomposición de la biomasa residual del centeno debido al mayor contacto con el suelo, proceso que no ocurrió con el rastrojo de trigo en los dos ciclos y avena en el Ciclo II. La descomposición del rastrojo está determinada por un lado por factores inherentes a su composición y por factores de manejo como la disposición del rastrojo (Brown & Dickey, 1970; Parr & Papendick, 1978).

La mayor estabilidad del rastrojo de centeno podría explicarse en la menor relación hoja/tallo, respecto de la avena y el trigo (Kennelly & Weinberg, 2003). Las hojas presentan una composición menos recalcitrante a la degradación, mientras que los tallos contienen un mayor porcentaje de lignina. Aquellos materiales que poseen alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, retrasan el descenso en peso relativo. La lignina tiende a persistir y acumularse en la biomasa que se está consumiendo debido a su resistencia a la descomposición microbiana (Douglas & Rickman, 1992; Zhang et al., 2014).

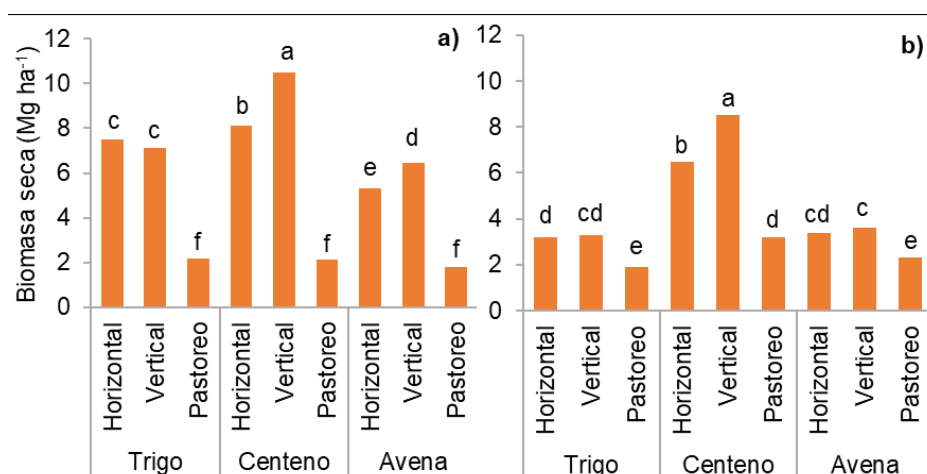


Figura 2. Biomasa de rastrojo al final del barbecho, previo a la siembra de trigo del Ciclo I (a) y Ciclo II (b); aportada por los antecesores (trigo, centeno y avena) bajo tres disposiciones (horizontal, vertical y pastoreo). Por cada ciclo, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

Figure 2. Stubble biomass at the end of fallow, prior to wheat seeding of Cycle I (a) and Cycle II (b) from the preceding crops (wheat, rye, and oats) under three arrangements (horizontal, vertical, and grazing). For each cycle, different letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

En el Ciclo II, la disposición horizontal de rastrojo en los tres antecesores llevó a que, en su totalidad, la cobertura se encontrara en el estrato inferior ($P < 0,05$). Bajo disposición vertical, más de la mitad de la biomasa de rastrojo de trigo y avena estaba en el estrato inferior ($P < 0,05$), pero en el rastrojo de centeno esa proporción fue inversa, es decir, mayor en el estrato superior ($P < 0,05$; Figura 3). Ello se supone como consecuencia de la estructura de la planta de los antecesores, ya que el centeno utilizado fue un cultivar diploide que posee la capacidad de elongar tempranamente los entrenudos y mostrar porte erecto (Amigone et al., 1997). Por ello, el centeno presenta una mayor relación tallo:hoja, respecto de avena y trigo (Gómez Waigel y Vigna, 2022; Kennelly y Weinberg, 2003). El pastoreo redujo los niveles de biomasa total de rastrojo

y aumentó la proporción en el estrato inferior, respecto al tratamiento vertical (Figura 3).

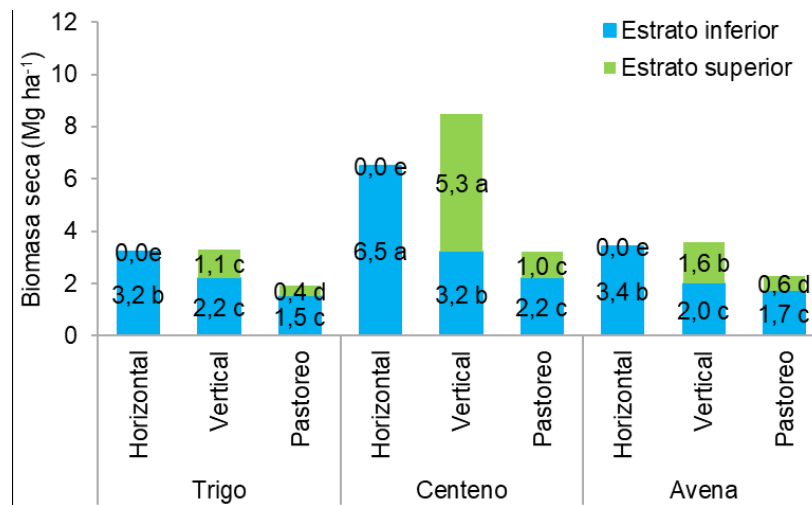


Figura 3. Composición por estrato superior (ES) e inferior (EI) de la biomasa de rastrojo al final del barbecho, aportada por los antecesores (trigo, centeno y avena) del Ciclo II bajo tres disposiciones (horizontal, vertical y pastoreo). Por cada estrato de biomasa, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

Figure 3. Composition by upper (ES) and lower (EI) stratum of stubble biomass from the preceding crops (wheat, rye, and oats) at the end of fallow of Cycle II under three arrangements (horizontal, vertical, and grazing). For each biomass stratum, different letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

Se considera que el incremento en la biomasa total y la altura del rastrojo, lo que supone un aumento en la biomasa del estrato superior del rastrojo, disminuye la exposición del suelo a los efectos del viento, reduciendo la pérdida de suelo y ralentizando el intercambio de vapor por convección (Smika, 1983). Además de ello, puede absorber la energía radiante, y así disminuir la pérdida de agua por evaporación desde el suelo (McMaster et al., 2000; Siddoway et al., 1965; Van de Ven et al., 1989).

Estructura del rastrojo - Índice de área del tallo: Se considera que el IAT se asocia a la eficiencia del rastrojo para reducir la velocidad del viento en superficie (Hagen & Armbrust, 1994; Hagen, 1996).

Tabla 2. Análisis estadístico del índice de área de tallo (IAT) al final del barbecho previo a la siembra de trigo de tres antecesores (trigo, centeno y avena) con tres disposiciones de rastrojo (horizontal, vertical y pastoreo) durante dos ciclos de estudio.

Table 2. Statistical analysis of stem area index (IAT) of the preceding crops (wheat, rye, and oats) at the end of the fallow prior to wheat seeding under three stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing) during two study cycles.

Tratamientos	Índice de área de tallo (IAT)					
	Ciclo I			Ciclo II		
Disposición del rastrojo	Antecesor					
	Trigo	Centeno	Avena	Trigo	Centeno	Avena
Horizontal	0,04 f	0,04 f	0,06 f	0,04 e	0,04 e	0,06 de
Vertical	0,57 c	1,32 a	0,81 b	0,29 b	0,92 a	0,34 b
Pastoreo	0,15 e	0,16 de	0,2 d	0,13 cd	0,14 c	0,19 c
Antecesor		***			**	
Disposición		***			***	
Antecesor*Disposición		***			***	

Significativos a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***). Por cada ciclo, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

Los resultados de IAT son similares a los obtenidos en el contenido de rastrojo. Independientemente del antecesor, en ambos Ciclos, los menores valores correspondieron a la posición horizontal, seguida de la pastoreada y vertical ($P < 0,01$; Tabla 2). Entre los antecesores ($P < 0,01$), solo se observaron diferencias en la posición vertical, siendo superior en el centeno seguido de la avena. El antecesor avena fue superior a trigo, debido al mayor número de vástagos por unidad de superficie (440, 360 y 350 vástagos m^2 en avena, trigo y centeno, respectivamente). Los mayores determinantes del IAT fueron la altura del rastrojo (30 cm en avena y trigo; y 80 cm en centeno) y la densidad de vástagos, ya que el diámetro de los tallos presentó una oscilación menor, que fue desde 3,6 a 4,5 mm.

Temperatura del suelo: No hubo interacción entre antecesores y disposiciones en las tres profundidades de suelo ($P > 0,31$). Los antecesores no afectaron la temperatura del suelo medida en tres profundidades durante el período de barbecho para el trigo (Ciclo I; $P > 0,23$). Ello ocurrió a pesar que el centeno dejó mayor biomasa de rastrojo y el doble de altura respecto del trigo y avena. Los altos niveles de biomasa de los tres antecesores y la compensación en las características que componen la estructura de los rastrojos ofrecieron similares condiciones de % de cobertura del suelo, lo que pudo minimizar las diferencias en cuanto a la reflectividad solar y la conductividad térmica de los rastrojos. Ello acuerda con Swella et al. (2015) quienes observaron la disminución de la máxima temperatura y menor amplitud térmica de suelo con rastrojos de 4 Mg ha^{-1} y mayor a 30 cm de alto.

Por su parte, la disposición del rastrojo sí afectó la temperatura del suelo y la relación respecto al ambiente (T_s/T_a) en las tres profundidades de suelo ($P < 0,05$). A medida que se profundizó en el suelo y las temperaturas ambientales fueron más bajas, estas diferencias se redujeron (Figuras 4 y 5).

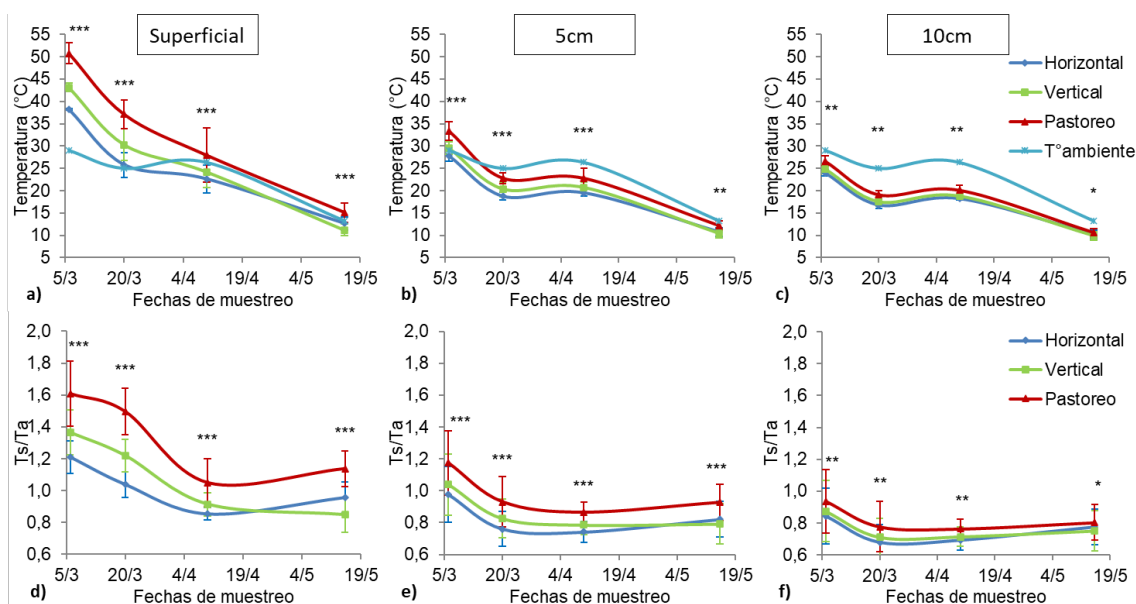


Figura 4. Temperatura del suelo (T_s) y ambiente (T_a , arriba), y su relación (T_s/T_a , abajo) durante el barbecho para el cultivo de trigo del Ciclo I (2018) bajo tres disposiciones del rastrojo de los antecesores (horizontal, vertical y pastoreo), en tres profundidades de suelo: superficial (a y d), 5 cm (b y e) y 10 cm (c y f). Diferencias significativas a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***)

Figure 4. Soil (T_s) and ambient temperature (T_a , top), and their ratio (T_s/T_a , bottom) during fallow for wheat crop Cycle I (2018) under three stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing) at three soil depths: surface (a and d), 5 cm (b and e) and 10 cm (c and f). Significant differences at a probability level of 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***).

En el rastrojo pastoreado durante el barbecho, la temperatura del suelo y la relación T_s/T_a fueron mayores respecto a la disposición horizontal y vertical (Figura 4), posiblemente debido a la disminución de la biomasa y altura del rastrojo (Swellá et al., 2015). A nivel superficial, durante todo el período de seguimiento, la temperatura del suelo con rastrojo pastoreado fue 4 a 13 °C mayor a las otras dos disposiciones y superó la temperatura ambiente ($T_s/T_a > 1$), similar a lo que ocurre con un suelo desnudo (Aase & Siddoway, 1980). Cutforth and McConkey (1997) observaron que los rastrojos de trigo cortos (15 cm) y el suelo desnudo aumentaban la radiación solar entrante (menor albedo) y la temperatura del suelo, en comparación con los rastrojos altos (> 30 cm). Además, el agua en la capa superior del suelo actúa regulando el equilibrio energético y, en consecuencia, la temperatura edáfica (Horton et al., 1996), que se incrementa con el secado (Freitas et al., 2006). Ello podría estar demostrando que el incremento en la temperatura del suelo en el tratamiento pastoreo podría deberse a la disminución en la biomasa de rastrojo y al menor el contenido de agua en el suelo.

Hasta mediados de mayo la temperatura del suelo y la T_s/T_a , a las tres profundidades estudiadas, mostraron un ordenamiento decreciente entre pastoreo > vertical > horizontal ($P < 0,05$; Figura 4). A partir de esta fecha, la temperatura del suelo y la T_s/T_a fueron menores en el rastrojo vertical que en horizontal, pero las diferencias no fueron significativas (pastoreo > horizontal \geq vertical; $P < 0,05$). Según Fabrizio et al. (2005), durante la noche, un suelo desnudo se enfría más rápidamente que un suelo con cobertura. Por lo tanto, en condiciones de temperatura ambiental más baja, podría haber un mayor enfriamiento con el rastrojo vertical respecto de horizontal, debido a la menor cobertura superficial o protección de suelo.

A nivel superficial, el rastrojo horizontal redujo la temperatura del suelo entre 1 y 5 °C y la T_s/T_a , respecto del rastrojo vertical (Figura 4). Además, la T_s/T_a fue más estable en el tiempo. Según Flerchinger et al. (2003), los rastrojos planos tienen un albedo mayor, es decir, absorben menos radiación solar (mayor reflectancia) que los rastrojos verticales y, en consecuencia, la temperatura máxima de suelo es inferior. En este sentido, se observó que el rastrojo horizontal amortiguó el efecto de la temperatura ambiental sobre el suelo (T_s/T_a). En contraposición, con la menor cobertura de pastoreo la temperatura del suelo ascendió a un máximo de 1,6 veces la temperatura ambiente (Figura 5).

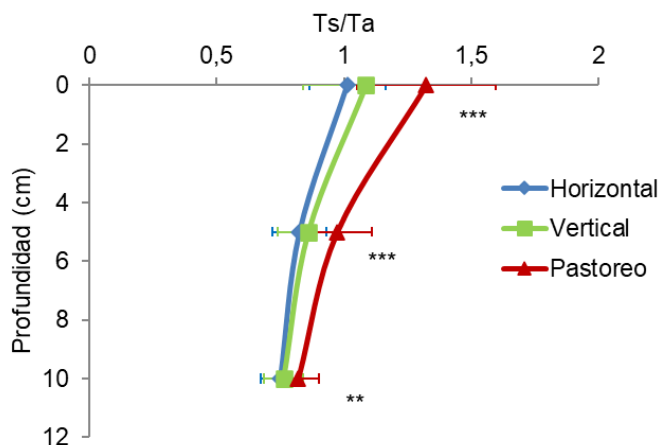


Figura 5. Relación entre la temperatura del suelo y la ambiental (T_s/T_a) en función de tres profundidades del suelo para las disposiciones de rastrojo (horizontal, vertical y pastoreo) en el barbecho para el cultivo de trigo del Ciclo I. Promedio de los tres antecesores y todas las fechas de medición. Diferencias significativas a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***)).

Figure 5. Relationship between soil and ambient temperature (T_s/T_a) as a function of three soil depths for the stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing) in the fallow for the wheat crop of Cycle I. Average of the three preceding crops and all measurement dates. Significant differences at a probability level of 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***)).

De acuerdo con los resultados de la estructura del rastrojo, la biomasa total y disposición del rastrojo parece tener mayor relación con la temperatura del suelo que el IAT, ya que el rastrojo horizontal presentó el menor índice, pero a su vez fue menor la temperatura del suelo. Según Van Doren & Allmaras (1978) la temperatura del suelo depende del área cubierta, y se incrementa cuando supera el 80 %. En concordancia cuando la cobertura paso del 60 % a superar el 90 % de la disposición vertical a horizontal.

Velocidad relativa del viento: No se observó interacción entre antecesor y disposición ($P > 0,18$), ni tampoco hubo efectos debidos a los antecesores ($P > 0,14$) en las cuatro alturas de medición para la velocidad promedio. Sólo se observaron diferencias debidas a la disposición del rastrojo por encima de la superficie del suelo y a 40 cm de altura ($P < 0,05$). Aiken et al. (1997, 2003) observaron diferencias en la velocidad del viento de acuerdo con el tipo y características de la geometría de los rastrojos de los cultivos, siendo menor con rastrojo de trigo, que era más alto que el mijo y con un IAT mayor que el maíz. En contraposición con estos autores, en este trabajo las diferencias en las características de la estructura del rastrojo de los antecesores como la biomasa e IAT no modificaron la velocidad del viento. En el caso de avena, la mayor densidad de vástagos podría compensar su menor altura de rastrojo (McMaster et al., 2000). Lo inverso fue observado en centeno, con menor número de vástagos por unidad de superficie, pero una mayor altura y, por lo tanto, una estructura más laxa.

Analizando los perfiles de velocidad del viento de las disposiciones, se observó que las mayores diferencias (36% en promedio) ocurrieron a nivel de la superficie de suelo ($P < 0,01$; Figura 6; Zubiaga et al., 2020b). En modo análogo a Aase and Siddoway (1980), la reducción de la velocidad del viento en superficie fue mayor para la disposición vertical del rastrojo (92 % de reducción respecto a la velocidad de referencia), alcanzando menores niveles de reducción con rastrojo bajo pastoreo y horizontal (71 y 56 %, respectivamente; Figura 6 y 7). A 40 cm sobre el nivel del suelo, la reducción de la velocidad del viento fue 26 % mayor con el rastrojo vertical (reducción del 63 %), respecto a horizontal y pastoreo, que no difirieron entre sí (Figura 6 y 7).

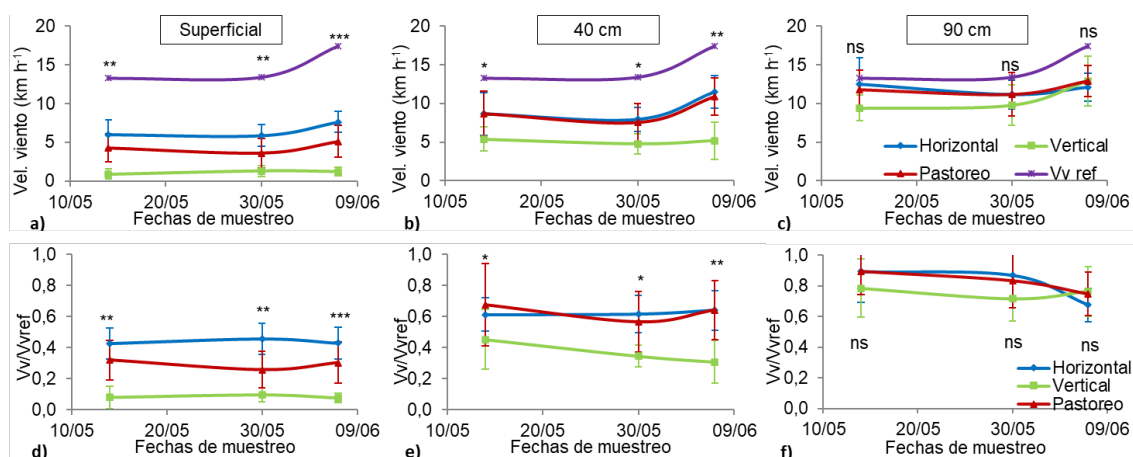


Figura 6. Velocidad del viento medida (arriba) y su relación con la velocidad medida a 200 cm en las unidades experimentales (Vv/Vv_{ref} , abajo) durante el barbecho para el cultivo de trigo del Ciclo I (2018) en tres alturas: superficial (a y d), 40 cm (b y e) y 90 cm (c y f); bajo tres disposiciones del rastrojo de los antecesores (horizontal, vertical y pastoreo). Vv_{ref} : línea violeta. Diferencias significativas a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***)

Figure 6. Wind speed (top) and its relation to the wind speed at 200 cm in the experimental units (Vv/Vv_{ref} , bottom) during fallow for wheat crop Cycle I (2018) at three heights: shallow (a and d), 40 cm (b and e) and 90 cm (c and f); under three stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing). Vv_{ref} : purple line. Significant differences at a probability level of 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***)

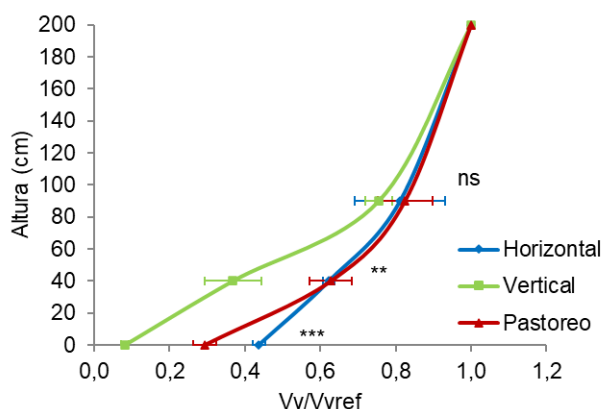


Figura 7. Relación entre la velocidad del viento y la velocidad de referencia medida a 200 cm en función de tres alturas de medición respecto del nivel del suelo (superficial, 40 y 90 cm) para las tres disposiciones de rastrojo (horizontal y pastoreo) en el barbecho para el cultivo de trigo del Ciclo I. Promedio de los tres antecesores y todas las fechas de medición. Diferencias significativas a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***)

Figure 7. Relationship between wind speed and reference speed measured at 200 cm as a function of three measurement heights (shallow, 40, and 90 cm above ground level) for the three stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing) in the fallow for a wheat crop of Cycle I. Average of the three preceding crops and all measurement dates. Significant differences at a probability level of 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***)

Humedad del suelo - antecesores: en los dos ciclos estudiados se observó similares condiciones de humedad del suelo a la siembra de los antecesores. Es decir, el barbecho previo había acumulado más de 200 mm en todo el perfil (el promedio de ambos ciclos fue de 42, 44, 44 y 86 mm en los estratos 0-20, 20-40, 40-60 y 60-90 cm).

Al final del cultivo de los antecesores, en el Ciclo I, el contenido de agua del suelo en todos los estratos fue mayor con avena, seguido de centeno y trigo, que no se diferenciaron; excepto en 40-60 cm donde el trigo ocupó una posición intermedia sin diferenciarse de los otros antecesores (Tabla 3). Asimismo, estas dife-

rencias fueron bajas, es decir, la avena presentó 16 mm por encima de centeno y trigo. En el Ciclo II, tuvo el mismo comportamiento entre los antecesores en el estrato superior pero debajo de este el contenido de agua fue similar en avena y centeno, superando a trigo con diferencias de 15 mm. Las diferencias en el contenido hídrico del suelo podrían explicarse en la longitud del ciclo a madurez, que en avena abarcó 165 días, es decir, dos semanas menos que el centeno y trigo. Los resultados en el uso consuntivo de los antecesores demuestran que en el Ciclo I se observaron diferencias significativas ($P < 0,01$), avena presentó el menor consumo de agua con 241 mm, respecto de trigo y centeno con 257 mm. Asimismo, se observaron diferencias significativas en el Ciclo II ($P < 0,05$), con menores consumos de agua en avena (258 mm) y centeno (254 mm) que no se diferenciaron, respecto de trigo (271 mm). Por lo tanto, al no registrarse precipitaciones durante las dos semanas de diferencia entre las especies no permitió expresar en mayor medida el incremento en la humedad residual en el suelo.

Tabla 3. Lámina de agua total (LAT) en diferentes estratos del perfil al final del ciclo de los antecesores (trigo, centeno y avena), previo a la cosecha de estos, para el Ciclo I y II.

Table 3. Total water table (LAT) in different strata of the soil profile at the end of the cycle of the preceding crops (wheat, rye, and oats) prior to harvest, for Cycle I and II.

Antecesor	Estrato edáfico [cm]									
	0-20	20-40	40-60	60-90	0-90	0-20	20-40	40-60	60-90	0-90
	LAT [mm]									
	Ciclo I					Ciclo II				
Trigo	18 b	32 b	42 ab	82 b	174 b	15 b	34	42 b	82 b	173 b
Centeno	19 b	31 b	41 b	83 b	174 b	15 b	33	47 a	102 a	198 a
Avena	20 a	35 a	45 a	90 a	190 a	20 a	36	49 a	93 a	198 a
ANOVA										
Antecesor	**	**	**	*	**	***	ns	***	***	***

Significativos a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***). Por cada estrato y ciclo, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

Humedad del suelo - trigo: No se observó interacción entre los tratamientos ($P > 0,16$) en la lámina de agua total a la siembra del cultivo principal trigo del Ciclo I y II. Tampoco se observaron diferencias debidas a los antecesores ($P > 0,21$) y a las disposiciones ($P > 0,12$), excepto en el estrato 0-20 cm ($P < 0,01$) en que horizontal (39 mm) supero a vertical (38 mm) y este a pastoreo (36 mm). En ambos ciclos, el contenido agua osciló entre 190 y 220 mm en el perfil. A pesar de no manifestar diferencias significativas debidas a los antecesores, el trigo tendió a dejar la menor humedad a la siembra del trigo posterior (hasta 10 mm menos que centeno y avena).

Eficiencia de barbecho: No se observó interacción entre antecesor y disposición del rastrojo ($P > 0,49$). En cuanto a los antecesores, en el Ciclo I no se observaron diferencias ($P > 0,12$), con un promedio de eficiencia de 25 % de acuerdo con un acumulado de precipitaciones durante el barbecho de 142 mm. Por otro lado, en el Ciclo II, la eficiencia de acumulación de agua fue mayor en el rastrojo de centeno (8,7 %) y trigo (9,8 %) que no se diferenciaron, respecto de avena (4,4 %; $P < 0,05$), a partir de 222 mm de lluvia ocurridos durante el barbecho. A pesar de no observarse estas diferencias en el Ciclo I, se manifestó la misma tendencia que en el Ciclo II. Además, si bien las disposiciones no presentaron diferencias ($P > 0,09$), el rastrojo horizontal mostró mayores niveles de eficiencia de barbecho (Figura 8; Zubiaga et al., 2020a), asociado a una mayor incidencia de este tratamiento sobre la temperatura del suelo y, en consecuencia, sobre la conservación del agua.

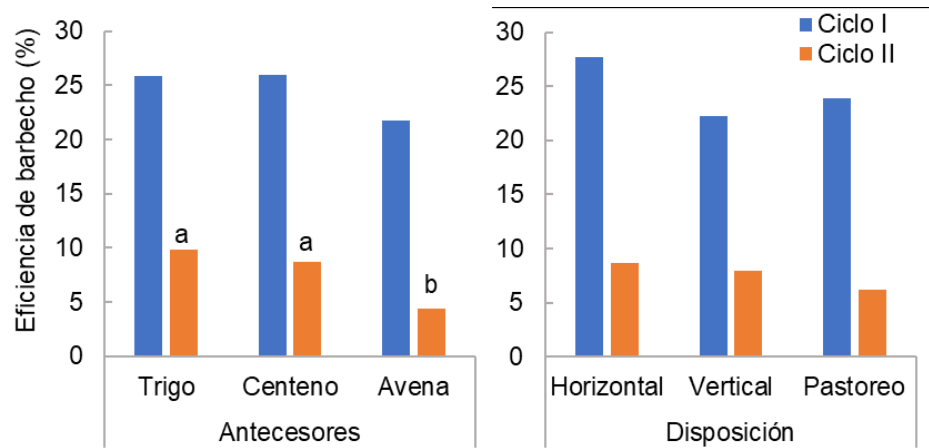


Figura 8. Eficiencia de barbecho previo a la siembra de trigo según los antecesores (trigo, centeno y avena) y las disposiciones del rastrojo (horizontal, vertical y pastoreo). Ciclos I y II.

Figure 8. Fallow efficiency prior to wheat seeding in relation to the preceding crops (wheat, rye, and oats) and stubble arrangements (horizontal, vertical, and grazing). Cycles I and II.

En el ACP se observó que la eficiencia de barbecho y lámina de agua total a la siembra del trigo (LATstr) en los primeros 20 cm estuvo correlacionada (0,69) principalmente con la T_s/T_a a nivel de superficie del suelo. Asimismo, no se observó una relación entre las variables mencionadas y V_v/V_{vref} sobre el nivel del suelo. Esta última se correlacionó (0,79) con el IAT. En este sentido, la temperatura parece tener un impacto relativo mayor que el viento en la eficiencia de barbecho y la humedad a la siembra del trigo (Figura 9).

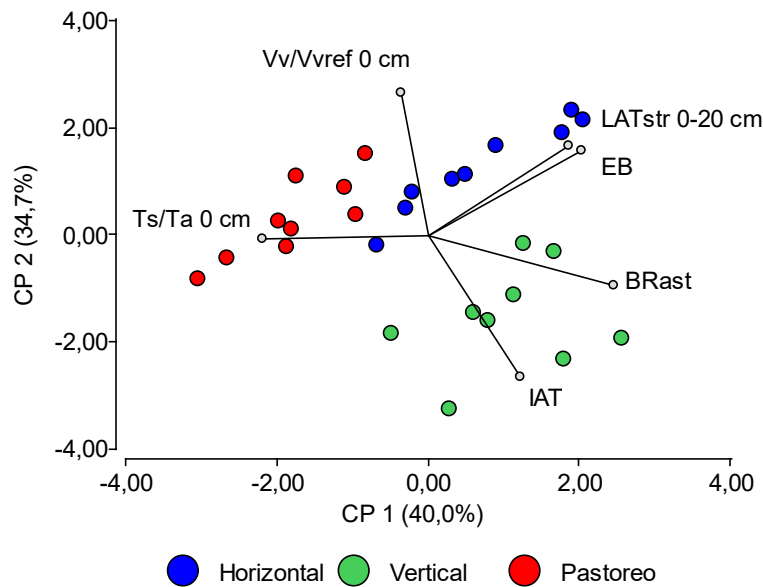


Figura 9. Análisis de componentes principales de las variables de la interfase suelo-atmósfera de las disposiciones del rastrojo durante el barbecho para trigo del Ciclo I. T_s/T_a 0 cm: relación de temperatura del suelo a nivel superficial y la ambiental; V_v/V_{vref} 0 cm: relación de la velocidad de viento medida sobre el nivel del suelo respecto de la medida a 200 cm; LATstr 0-20 cm: lámina de agua total en los primeros 20 cm de suelo a la siembra del trigo; EB: eficiencia de barbecho; BRast: biomasa de rastrojo al final del barbecho; IAT: índice de área de tallo.

Figure 9. Principal component analysis of soil-atmosphere interface variables of stubble arrangement during wheat fallow of Cycle I. T_s/T_a 0 cm: ratio of surface soil temperature to ambient temperature; V_v/V_{vref} 0 cm: ratio of wind speed measured above ground level to that measured at 200 cm; LATstr 0-20 cm: total water table at 20 cm soil depth at wheat seeding; EB: fallow efficiency; BRast: stubble biomass at the end of fallow; IAT: stem area index.

La disposición horizontal del rastrojo se asoció a la eficiencia de barbecho (Figura 9). El rastrojo horizontal se relacionó con una mayor biomasa del estrato inferior y menor T_s/T_a . Por su parte el rastrojo vertical se relacionó con las características de biomasa (ES) y estructura (IAT) del rastrojo que impactan de manera directa para reducir la velocidad del viento (menor V_v/V_{vref}), pero mostró menor asociación con la eficiencia de barbecho. La evaporación del agua del suelo se encuentra influenciada por la velocidad del viento en la superficie del suelo y la disposición vertical del rastrojo parece ser más efectiva que la horizontal para reducirlas, pero los resultados demuestran lo contrario. Smika (1983), observó que la pérdida de agua del suelo fue mayor con el aumento de la velocidad del viento, independientemente de la disposición (vertical o aplanada) del rastrojo que cubre el suelo. Por otro lado, se manifestó el efecto negativo de la práctica del pastoreo que mostró menor eficiencia de barbecho asociado a la menor biomasa de rastrojo al final del barbecho y al incremento de la temperatura del suelo durante este periodo.

Dinámica del agua en el suelo: el caso de una precipitación extrema

La disposición del rastrojo de cosecha del trigo influyó significativamente en el almacenamiento total de agua del suelo hasta 13 días luego de la precipitación extrema (Zubiaga et al., 2020c). El efecto de la disposición del rastrojo presentó diferencias significativas hasta los 40 cm de profundidad (estratos de 0-10, 10-20 y 20-40 cm). Las mayores diferencias se presentaron en los primeros 10 cm de suelo y los días inmediatos posteriores a la precipitación, luego fueron disminuyendo en las capas inferiores y los sucesivos días (Figura 10).

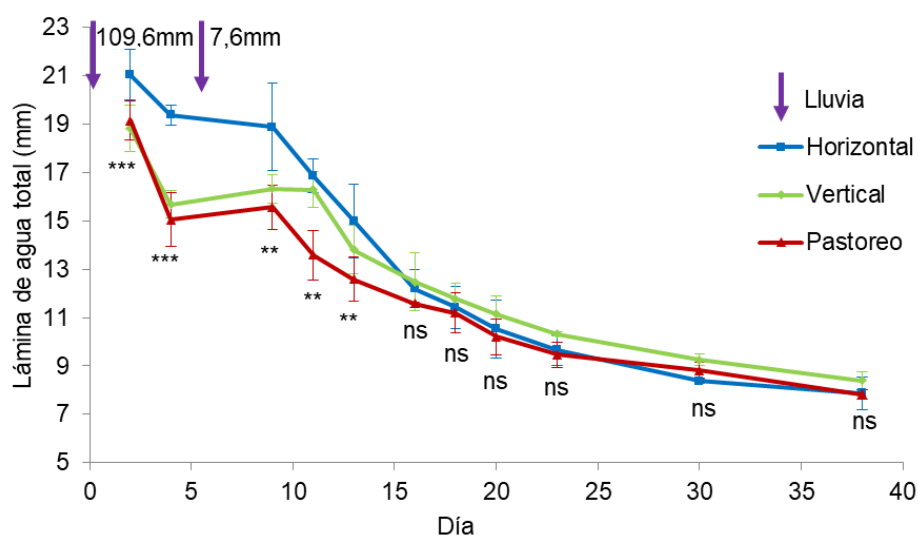


Figura 10. Contenido de agua (mm) en los primeros 10 cm de suelo durante el barbecho con rastrojo de trigo del Ciclo I, previo a siembra de los antecesores del Ciclo II. Diferencias significativas a nivel de probabilidad de: 0,05 (*); 0,01 (**); 0,001 (***).

Figure 10. Water content (mm) at 10 cm soil depth during fallow from wheat stubble of Cycle I before seeding of the preceding crops of Cycle II. Significant differences at a probability level of 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***).

La evolución del contenido de agua edáfica en las capas estudiadas y en el total del perfil (0-60 cm) hasta 13 DDP, se observó que el mayor efecto de la disposición del rastrojo se manifestó en los primeros 10 cm del horizonte. En esa capa superior, la disposición horizontal del rastrojo retuvo mayor contenido de agua, superando al vertical y pastoreo (Figura 15). El rastrojo horizontal presentó entre 26 y 40 mm más de agua en suelo (0-40 cm hasta 13 DDP) que vertical y pastoreo, respectivamente. Swella et al. (2015) observaron menores pérdidas por evaporación directa en suelos cubiertos con rastrojos dispuestos horizontalmente. Si bien estos autores observaron mayor interceptación del agua de lluvia con el aumento de la altura del rastrojo, ello no ocurrió en el presente estudio. Es decir, la disposición vertical o el pastoreo del rastrojo acumularon menores valores de humedad en el suelo, a pesar de que la altura era de 33 y 11 cm ($6,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) respectivamente, mientras que rastrojo horizontal presentaba una altura de solo 3 cm. Estas observaciones asignan un rol crucial a la disposición del rastrojo, por encima de otros componentes de la estructura y la biomasa total.

Varios estudios demostraron que una cantidad significativa de agua es interceptada por los rastrojos y se

evapora directamente a la atmósfera sin llegar al suelo tras eventos de lluvia escasa, es decir, inferiores a 20 mm (Cantero Martínez et al., 2007; Passioura y Angus, 2010; Sommer et al., 2012; Zhai et al., 1990). En este estudio, luego de un evento de precipitación de 7,6 mm se manifestó un leve incremento en el contenido de agua del estrato superior del suelo solo con rastrojo vertical y pastoreo, mientras que con rastrojo horizontal la humedad superficial continuó decayendo. El elevado porcentaje de cobertura del rastrojo horizontal (> 90 %), podría constituir una barrera para disminuir la entrada de agua al suelo cuando ocurren eventos de baja precipitación, en los que el agua de lluvia se evapora directamente sin alcanzar el suelo. Entonces, la disposición horizontal podría resultar poco adecuada en los eventos de precipitación de bajo volumen, pero resultar adecuada para mejorar su efecto ante eventos de precipitación mayores.

Los resultados encontrados sugieren que en sistemas de L0 la disposición horizontal del rastrojo podría aumentar la cantidad de agua almacenada en el suelo en un período corto, menor a dos semanas, luego de eventos de precipitación abundante. La tendencia a bajar la temperatura del suelo observada con el rastrojo horizontal reduciría las pérdidas por evaporación inmediatamente después de un evento de lluvia. Esta condición permitiría que el agua se mueva en profundidad en el perfil del suelo (Wills & Bond, 1971). Dependiendo de la cantidad, frecuencia e intensidad de la precipitación, podría traducirse en una mejora de la gestión del agua del suelo.

CONCLUSIONES

Los cereales antecesores y principalmente la disposición del rastrojo determinaron grandes diferencias en los componentes de la cobertura del suelo en la interfase, afectando el índice de área de tallo, la biomasa total y su proporción en estrato superior e inferior.

La estructura del rastrojo de los cereales invernales modificó el grado de exposición de las capas superiores de suelo a los efectos del viento y la temperatura durante el período de barbecho para trigo debido a la disposición, pero no así por los antecesores.

Los cambios en la incidencia de la temperatura y viento sobre la capa superficial del suelo impactaron en la dinámica del agua del suelo. La disposición horizontal del rastrojo redujo la temperatura del suelo, la cual tuvo un impacto relativo mayor sobre la eficiencia de barbecho y la humedad a la siembra del trigo. Además, aumentó el almacenamiento total de agua en las capas superiores del suelo hasta 13 días posteriores al evento de precipitación extrema hasta 40 cm de profundidad. Principalmente en los primeros centímetros de suelo y en los días inmediatos posteriores al evento. El pastoreo tuvo un efecto negativo en la estructura de la cobertura de rastrojo, lo que incrementó la temperatura del suelo y la velocidad laminar del viento y, en consecuencia, disminuyó la eficiencia de barbecho y el contenido hídrico de la capa superficial del suelo en los 13 días posteriores al evento de precipitación extrema.

La disposición del rastrojo impactó sobre las variables que componen la interfase suelo-atmósfera y, en consecuencia, en la dinámica del agua en el suelo. Por lo tanto, no solo debería evaluarse el porcentaje de cobertura como la proyección del rastrojo sobre la superficie del suelo, sino que como se propone se debe tener en cuenta la estructura del rastrojo mediante la biomasa total de rastrojo, compuesta por el estrato superior e inferior, y el IAT. Aquellas prácticas de manejo como las que afectan la disposición de los rastros de cosecha pueden modificar el microclima de la interfase suelo-atmósfera durante el barbecho y en consecuencia mejorar la eficiencia de gestión del agua en el suelo en el semiárido austral pampeano. La disposición del rastrojo proporciona una alternativa de manejo del rastrojo en función de las características climáticas de cada ambiente.

REFERENCIAS

- Aase, J. & Siddoway, F. (1980). Stubble height effects on seasonal microclimate, water balance, and plant development of no-till winter wheat. *Agricultural meteorology*, 21(1), 1-20. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(80\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0002-1571(80)90065-5).
- Aiken, R., Nielsen, D. & Ahuja, L. (2003). Scaling effects of standing crop residues on the wind profile. *Agronomy Journal*, 95(4), 1041-1046. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1041>.
- Aiken, R., Flerchinger, G., Farahani, H. & Johnsen, K. (1997). Energy balance simulation for surface soil and residue temperatures with incomplete cover. *Agronomy Journal* 89(3), 404-415. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900030007x>.
- Amigone, M., Kloster, A., Chiacchiera, S., Conde, M. y Masiero, B. (1997). Verdeos de invierno. Invernada bovina en zonas mixtas. Centro

- Regional Córdoba. INTA. *Información Técnica* N° 35.
- Blake, G. & Hartge, K. (1986). Bulk density. En: Klute, A (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Agronomy. Second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 363–375.
- Bohn, V., Sánchez, R., Carrascal, C. y Romagnoli, F. (2014). Estudio Preliminar de Variables Climatológicas y Productividad de los Suelos (RESAP, Argentina). *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional*, 1-6.
- Bond, J. & Willis, W. (1970). Soil water evaporation: first stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Soil Science Society of America Journal*, 34(6), 924-928. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400060030x>.
- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 4661-4665.
- Bray, R. & Kurtz, L. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*, 59(1), 39-46.
- Bremner, J. (1996). Nitrogen - Total. In: Sparks, DL. (Ed), *Methods of soil analysis*. Part 3 - Chemical Methods. Chapter 37. ASA, SSSA, CSSA, Madison WI, 1085-1121.
- Brown, P. & Dickey, D. (1970). Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 34(1), 118-121. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400010032x>.
- Cantero Martínez, C., Anga's, P. & Lampurlanes, J. (2007). Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Annals of Applied Biology*, 150(3), 293-305. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00142.x>.
- Cutforth, H. & McConkey, B. (1997). Stubble height effects on microclimate, yield, and water use efficiency of spring wheat grown in a semiarid climate on the Canadian prairies. *Canadian journal of plant science*, 77(3), 359-366. <https://doi.org/10.4141/P96-153>.
- D'amico, J., Varela, P., Justianovich, S. y Hall, M. (2016). Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico para el riego de cebolla en el valle bonaerense del río Colorado. EEA Hilario Ascasubi, INTA. *Informe técnico* N° 48. ISSN 0328-3399. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/12325>.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Douglas, C. & Rickman, R. (1992). Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content, and residue placement. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 272-278. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010042x>.
- Fabrizzi, K., García, F., Costa, J. & Picone, L. (2005). Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 81(1), 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.05.001>.
- Flerchinger, G., Sauer, T. & Aiken, R. (2003). Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface. *Geoderma*, 116(1-2), 217-233. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00102-2).
- Freitas, P., Mantovani, E., Sediyaama, G. e Costa, L. (2006). Influência da cobertura de resíduos de culturas nas fases da evaporação direta da água do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10, 104-111. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000100016>.
- Gómez Waigel, M. y Vigna, C. (2022). *Evaluación de forrajeras invernales bajo dos momentos de aprovechamiento en un ambiente semiárido*. Tesis de grado. Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. 26p. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/7874>.
- Hagen, L. (1996). Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(1), 39-46. <https://doi.org/10.1007/BF00863557>.
- Hagen, L. & Armbrust, D. (1994). Plant canopy effects on wind erosion saltation. *Transactions of the ASAE*, 37(2), 461-465. <https://doi.org/10.13031/2013.28097>.
- Holman, J., Roberts, T. & Maxwell, S. (2016). Fallow replacement crop (cover crops, annual forages, and short-season grain crops) effects on wheat and grain sorghum yields. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 2(7), 2. <http://dx.doi.org/10.4148/2378-5977.1247>.
- Horton, R., Bristow, K., Kluitenberg, G. & Sauer, T. (1996). Crop residue effects on surface radiation and energy balance. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(1), 27-37. <https://doi.org/10.1007/BF00863556>.
- Iurman, D. (2009). *Diagnóstico y evaluación económica de alternativas tecnológicas para productores agropecuarios familiares de la zona de secano del partido de Patagones (Buenos Aires)*. Tesis de Magíster en Economía Agraria y Administración Rural, Universidad Nacional del Sur, 195 p. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2027>.
- Kennelly, J. & Weinberg, Z. (2003). Small grain silage. *Silage science and technology*, 42, 749-779. <https://doi.org/10.2134/agronmono-gr42.c16>.
- Kozak, J., Ahuja, L., Green, T. & Ma, L. (2007). Modelling crop canopy and residue rainfall interception effects on soil hydrological components for semi-arid agriculture. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(2), 229-241. <https://doi.org/10.1002/hyp.6235>.
- Kruger, H., Zilio, J. y Frolla, F. (5-9 de mayo de 2014). *Procesos en la interfase suelo-atmósfera que inciden en la eficiencia de uso del agua* [Trabajo expandido]. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Kruger, H. y Quiroga, A. (2013). La interfase suelo-atmósfera y su valor estratégico en regiones semiáridas. En C. Álvarez, A. Quiroga, D.

- Santos y M. Bodrero (Eds.), *Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 5-6). INTA. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/89>.
- López, M. & Arrue, J. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil and Tillage Research*, 44(1-2), 35-54. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00030-5).
- Madurga, M. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, 99, 369-389. <https://rac.es/ficheros/doc/00244.pdf>.
- Mathews, O. & Army, T. (1960). Moisture storage on fallowed wheatland in the Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 24(5), 414-418. <https://doi.org/10.2136/sssaj1960.03615995002400050029x>.
- McMaster, G., Aiken, R. & Nielsen, D. (2000). Optimizing wheat harvest cutting height for harvest efficiency and soil and water conservation. *Agronomy Journal*, 92(6), 1104-1108. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9261104x>.
- Monzon, J., Sadras, V. & Andrade, F. (2006). Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *Field Crops Research*, 98(2-3), 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.010>.
- Parr, J. & Papendick, R. (1978). Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. *Crop residue management systems*, 31, 101-129. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub31.c6>.
- Passioura, J. & Angus, J. (2010). Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 106, 37-75. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)06002-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)06002-5).
- Pérez, S., Sierra, E. y Casagrande, G. (2003). Comportamiento de las precipitaciones (1918/2000) en el centro oeste de Buenos Aires (Argentina). *Revista de la facultad de agronomía; volumen 14*, N° 1/2, 39-46. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/5691>.
- Quiroga, A., Fernández, R. y Álvarez, C. (2018). Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. Ediciones INTA. 123 p. ISBN 978-987-521-937-3. <https://repositorio.inta.gov.ar/handle/20.500.12123/3834>.
- Quiroga, A., Funaro, D., Fernández, R. y Noellemeyer, E. (2005). Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo*, 23(1), 79-86. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000100009.
- Rillo, S. (2012). *Cultivos de cobertura para mejorar las condiciones del suelo en rotaciones con alta frecuencia de soja*. Tesis de maestría, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 54 p. <https://repositorio.inta.gov.ar/handle/20.500.12123/6123>.
- Sánchez, R., Pezzola, A. y Cepeda, J. (1998). Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. *Boletín de divulgación N° 18*. ISSN 0328-3321.
- Scherger, M., Rosell, M. y Campo, A. (2012). Impacto ambiental en áreas marginales del río Colorado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Perspectiva Geográfica*. ISSN: 0123-3769, Vol. 17, 9-28. <https://doi.org/10.19053/01233769.2260>.
- Sharratt, B. (2002). Corn stubble height and residue placement in the northern US Corn Belt: Part I. Soil physical environment during winter. *Soil and Tillage Research*, 64(3-4), 243-252. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00260-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00260-4).
- Siddoway, F., Chepil, W. & Armbrust, D. (1965). Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control. *Trans. ASAE* 8:327-331.
- Smika, D. (1983). Soil water change as related to position of wheat straw mulch on the soil surface. *Soil Science Society of America Journal*, 47(5), 988-991. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700050029x>.
- Soil Survey Staff. (2022). *Keys to Soil Taxonomy*, 13th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. 401 p.
- Sommer, R., Piggin, C., Haddad, A., Hajdibo, A., Hayek, P. & Khalil, Y. (2012). Simulating the effects of minimum tillage and crop residue retention on water relations and yield of wheat under rainfed semiarid Mediterranean conditions. *Field Crop Research* 132, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.024>.
- Steiner, J. & Schomberg, H. (1996). Impacts of crop residue at the Earth-atmosphere interface: introduction. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/BF00863553>.
- Swella, G., Warda, P., Siddique, K. & Flower, K. (2015). Combinations of tall standing and horizontal residue affect soil water dynamics in rainfed conservation agriculture systems. *Soil & Tillage Research*, 147, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.11.004>.
- Unger, P. (1978). Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 486-491. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030023x>.
- Van Doren, D. & Allmaras, R. (1978). Effect of residue management practices on the soil physical environment, microclimate, and plant growth. *Crop residue management systems*, 31, 49-83. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub31.c4>.
- Van de Ven, T., Fryrear, D. & Spaan, W. (1989). Vegetation characteristics and soil loss by wind. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(4), 347-349. <https://www.jswnonline.org/content/44/4/347>.
- Walkley, A. & Black, T. (1934). An examination of the Dugtijaraff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chronic and titration method. *Soil Science*, 37(1), 23-38.
- Willis, W. & Bond, J. (1971). Soil water evaporation: Reduction by simulated tillage. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35(4),

526-529. <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040016x>.

Wilhelm, W., Johnson, J., Hatfield, J., Voorhees, W. & Linden, D. (2004). Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review. *Agronomy journal*, 96(1), 1-17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>.

Zhai, R., Kachanoski, R. & Voroney, R. (1990). Tillage effects on the spatial and temporal variation of soil water. *Soil Science Society of America Journal*, 54(1), 186-192. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010029x>.

Zhang, H., Fangel, J., Willats, W., Selig, M., Lindedam, J., Jorgensen, H. & Felby, C. (2014). Assessment of leaf/stem ratio in wheat straw feedstock and impact on enzymatic conversion. *GCB Bioenergy*, 6(1), 90-96. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12060>.

Zhang, T. (2005). Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Reviews of Geophysics*, 43(4). <https://doi.org/10.1029/2004RG000157>.

Zubiaga, L., Vanzolini, J., Dunel, L., Storniolo, R., Ombrosi, D., Álvarez, C., Cantamutto, M. y Galantini, J. (13-16 de octubre de 2020a). *Efecto de la arquitectura del rastrojo de cultivos de invierno bajo labranza cero: I. Conservación del agua del suelo* [Trabajo expandido]. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Corrientes, Argentina.

Zubiaga, L., Vanzolini, J., Dunel, L., Storniolo, R., Ombrosi, D., Álvarez, C., Cantamutto, M. y Galantini, J. (13-16 de octubre de 2020b). *Efecto de la arquitectura del rastrojo de cultivos de invierno bajo labranza cero: II. Microclima de la interfase suelo-atmósfera* [Trabajo expandido]. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Corrientes, Argentina.

Zubiaga, L., Vanzolini, J., Dunel, L., Storniolo, R., Ombrosi, D., Álvarez, C., Cantamutto, M. y Galantini, J. (13-16 de octubre de 2020c). *Efecto de la arquitectura del rastrojo de cultivos de invierno bajo labranza cero: III. Dinámica del agua del suelo luego de un evento de precipitación* [Trabajo expandido]. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Corrientes, Argentina.