

DISPONIBILIDAD DE PAJA EN LOS RASTROJOS DE TRIGO EN TRES PROVINCIAS DE CHILE

Straw availability in the wheat stubbles of three provinces of Chile

Edmundo Hetz H.^{1*}, Janette de la Cerda A.¹, Marco López R.¹

ABSTRACT

The straw left in the wheat (*Triticum aestivum* L.) stubbles after harvest presents great difficulties to the following tillage or direct seeding operations. The objectives of this work were to determine the quantities of straw available in the wheat stubbles and to assess the quantities of straw that could be collected by balers from the swath left by the combine harvester. Measurements were taken during January and February of 2005 in 15 farms located in the provinces of Linares, Ñuble and Malleco. The main data collected included quantities of straw left by the harvester in the swath, the straw left standing, the harvester's cutting width and height, wheat height, and straw moisture content. The results showed straw densities in the swath between 0.552 and 2.686 kg m⁻¹, directly related to the harvester cutting width, which gave a range of 1.5 to 4.5 t ha⁻¹, with a mean near 2.5 t ha⁻¹, for a country total near one million tonnes. The quantities of straw left standing fluctuated between 1.6 and 5.1 t ha⁻¹. The average total straw left in the field reached 6.4 t ha⁻¹, for a country total of 2.7 million tonnes. Direct significant correlations were found between cutting width and straw in the swath, between cutting height and straw left standing, between wheat height and total straw, and between this total and wheat yield.

Key words: *Triticum aestivum*, straw, stubble, swath

RESUMEN

La paja que queda en los rastrojos de trigo (*Triticum aestivum* L.) presenta grandes dificultades para cualquier faena de labranza o siembra directa que se quiera realizar sobre ellos. Los objetivos de esta investigación fueron analizar las cantidades de paja en los rastrojos de trigo y estimar las cantidades que podrían recolectarse con enfardadora desde el cordón dejado por la cosechadora. Se realizaron mediciones en 15 predios en las provincias de Linares, Ñuble y Malleco, las cuales incluyeron las cantidades de paja en el cordón dejado por la cosechadora, paja en pie, ancho y altura de corte, altura del trigo y contenido de humedad de la paja. Los resultados establecieron densidades entre 0,552 y 2,686 kg m⁻¹ en el cordón, directamente relacionadas con el ancho de corte, las que dieron un rango de 1,5 a 4,5 t ha⁻¹, con una media cercana a 2,5 t ha⁻¹, para un total país cercano a un millón de toneladas. Las cantidades de paja en pie fluctuaron entre 1,6 y 5,1 t ha⁻¹, el total de paja dejada en el campo promedió 6,4 t ha⁻¹, para un total país de 2,7 millones de toneladas. Existen correlaciones significativas directas entre el ancho de corte y la cantidad de paja en el cordón, entre la altura de corte y la cantidad de paja en pie, entre la altura del trigo y el total de paja, y entre este total y el rendimiento del trigo.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., paja, rastrojo

Proyecto N° 204.131.006-1.0 de la Dirección de Investigación, Universidad de Concepción, Chile

¹ Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Casilla 537, Chillán, Chile.

E-mail: ehetz@udec.cl *Autor para correspondencia.

Recibido: 28 de julio 2005 Aceptado: 13 de octubre de 2005.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) continúa siendo el cultivo más importante en Chile, con aproximadamente 420.000 ha sembradas actualmente; de este total, un 40% se encuentra entre las provincias de Linares y de Malleco. Aún cuando se espera una reducción importante de esta área en el próximo decenio, todavía seguirá siendo el cultivo con la mayor superficie sembrada anualmente (ODEPA, 2005).

La paja que queda en los rastrojos luego de su cosecha presenta grandes dificultades para cualquier faena de labranza o siembra directa que se quiera realizar sobre ellos. Este problema es mayor en Chile que en otros países, pues las cantidades de paja que quedan en los rastrojos son enormes, llegando con frecuencia a 9 y 10 t ha⁻¹, con contenidos de humedad cercanos a 10%. En Chile, luego de la cosecha vienen meses con bajas temperaturas que hacen muy lenta su descomposición (Riquelme, 2003; Vidal y Troncoso, 2003).

El uso del fuego para eliminar la paja es todavía una práctica muy común, principalmente por su bajo costo y sus efectos fitosanitarios positivos (Madariga, 2003). Sin embargo, esta alternativa causa problemas ambientales y además graves accidentes, a causa de la escasa visibilidad generada por el humo. Esta práctica no es sustentable y en los próximos años la presión para eliminarla se hará insostenible, tal como ocurrió en los países desarrollados.

Las alternativas existentes a la quema de la paja de los rastrojos difieren en sus relaciones costo/beneficio, y se requiere en forma urgente encontrar soluciones atractivas para los productores de trigo. Las alternativas propuestas para reducir la cantidad de paja incluyen el talajeo con alta carga animal, lo cual requiere de una gran cantidad de animales que pueden causar graves problemas de compactación del suelo cuando éste aumenta su contenido de humedad con las primeras lluvias de otoño. Otra alternativa es hilerar la paja en el mismo terreno y esperar que se degrade con el paso de los años; esta alternativa, que ocupa entre 10 y 15% del terreno, no es atractiva en Chile por la escasez de tierra para sembrar. La incorporación de toda la paja al suelo causa un aumento de la relación C/N y otros problemas cuya solución tiene costos que no soporta la baja rentabilidad del cultivo (Crovetto, 1999, 2002).

Datos de larga data han demostrado la importancia de dejar la paja de los rastrojos sobre el suelo para protegerlo de la erosión y lograr alta productividad, lo cual se ha hecho sustentable en el tiempo a través de la siembra directa (Crovetto, 1999, 2002). Cuando se decide dejar toda la paja en el terreno, las grandes cantidades generadas en los trigales chilenos obliga a instalar en la parte trasera de la cosechadora un picador/distribuidor de paja, que tiene un costo adicional, puede demandar hasta unos 15 kW más de potencia, y obligan a avanzar más lento, lo que no es del agrado de los productores (Blanchard, 1992; Bragachini *et al.*, 1993; Chamen y Cope, 1994). A lo anterior debe agregarse la búsqueda de soluciones para los problemas de alelopatía, acidez del suelo y al fenómeno conocido como "hambre de nitrógeno", causada por la alta relación C/N (Crovetto, 1999, 2002; Kumar y Goh, 2000).

Por otro lado, se ha demostrado que dejar en el terreno 3 a 3,5 t ha⁻¹ de paja es suficiente para proteger al suelo de la erosión, mantener un buen nivel de materia orgánica, potenciar altas productividades y permitir un adecuado desempeño de los implementos de labranza y/o de la sembradora de cero labranza (Crovetto, 2002; Mead y Qaisrani, 2003).

El mayor problema lo causa el cordón de pajas largas, de 1 a 1,5 m de ancho que deja tras de sí la cosechadora, donde se junta todo el material cortado por la sección recolectora frontal, que puede tener en Chile hasta 6 m de ancho. La densidad lineal de la paja en este cordón varía considerablemente con el ancho y altura de corte, la variedad de trigo y la fertilización (Allen, 1988; Eshkaraev, 2003). En Inglaterra, Neale y Williams (1993) encontraron densidades de 2,3 a 3,5 kg m⁻¹ para una recuperación potencial de 5 a 5,5 t ha⁻¹. Por otra parte, Bamaga *et al.* (2003) en el norte de India, trabajando con trigos de altura mediana (75-85 cm), encontraron cantidades entre 0,18 y 1,67 kg m⁻¹ para alturas de corte entre 28 y 40 cm, lo cual permitió recuperar desde este cordón de 2 a 2,5 t ha⁻¹ de paja, dejando en el terreno de 2,5 a 3,7 t ha⁻¹ de cañas en pie.

La paja recolectada desde el cordón dejado por la cosechadora puede destinarse a usos ganaderos, agrícolas o industriales. Entre los primeros está la alimentación del ganado; los usos agrícolas incluyen la producción de hongos saprófitos, compostaje

y suelo orgánico, cobertura de suelos erosionados, cama invernal del ganado e incorporación a ensilajes con mucha agua (Crovetto, 2002). Los usos industriales incluyen su utilización como combustible sólido, con un aporte de 14 a 15 MJ kg⁻¹, aproximadamente, lo cual para una recuperación de 3 t ha⁻¹ equivale a unos 1.125 L de combustible diesel por hectárea. Este uso está muy difundido en el norte de Europa para calefaccionar edificios de uso colectivo, como escuelas, hospitales, condominios; en Chile podría convertirse, además, en un combustible barato para secar productos agrícolas. Otros usos extraprediales incluyen la fabricación de bioetanol, celulosa, papel, paneles aislantes y relleno en embalajes (Butterworth, 1985).

En la literatura revisada no se encontraron datos que cuantifiquen y caractericen las cantidades de paja existentes en los rastrojos de trigo bajo los distintos sistemas de producción empleados en Chile. Los objetivos principales de esta investigación fueron determinar las cantidades de paja presentes en los rastrojos de trigo en tres regiones del país y estimar las cantidades que podrían recolectarse con enfardadora desde el cordón dejado por la cosechadora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes generales

Esta investigación se realizó en el Departamento de Mecanización y Energía de la Facultad de Ingeniería

Agropecuaria de la Universidad de Concepción, Chillán. Se tomaron datos en 15 predios con rastrojos de trigo, ubicados en las provincias de Linares, Ñuble y Malleco, en las Regiones VII, VIII y IX, entre octubre de 2004 y junio de 2005. Esta zona de Chile se ubica entre los 35°37' lat. Sur, 71°34' long. Oeste y 37°59' lat. Sur, 72°49' long. Oeste; tiene una caída pluviométrica anual que aumenta de norte a sur de 890 a 1235 mm, con una temperatura media anual de 13,3°C en la parte norte y 10,5°C en el sur; suelos derivados de cenizas volcánicas, de textura media, profundos, suavemente ondulados, y de buen drenaje.

Ubicación y características de los lugares de toma de datos

En el Cuadro 1 se indican los 15 lugares de muestreo, ubicados en las comunas de Yerbas Buenas, Parral, Chillán, Coihueco, Bulnes, El Carmen, Los Sauces y Victoria. Para cada predio se registraron la variedad usada, la fecha de siembra, condición de riego o secano, rendimiento del trigo y destino de la paja. También se obtuvieron datos para determinar la tecnología del sistema de producción usado; se definió como alta tecnología la aplicación de excelentes prácticas agronómicas, como el uso de semilla certificada, alto nivel de fertilización, buen control de malezas y plagas, alta capacidad técnica y de gestión del administrador. Habían ocho variedades sembradas en invierno (lugares 1-2-6-7-10-12-14-15) y siete en primavera (lugares 3-4-5-8-9-11-13),

Cuadro 1. Ubicación y características de los distintos lugares de muestreo.

Table 1. Location and characteristics of the different sampling places.

N°	Lugar de muestreo	Variedad	Fecha siembra	Riego		Nivel tecnológico
				Con	Sin	
1	Linares, Yerbas Buenas	Dalcahue-INIA	03/05/04		X	Bajo
2	Linares, Parral	Pandora-INIA	28/05/04		X	Alto
3	Ñuble, El Tranque	Gorrión	26/08/04	X		Alto
4	Ñuble, Sta. Rosa, Q-10	Domo-INIA	10/08/04	X		Alto
5	Ñuble, Los Guindos	Halcón	23/08/04	X		Alto
6	Malleco, Los Sauces,	Barredor	28/04/04		X	Alto
7	Ñuble, Santa Isabel	Dalcahue-INIA	10/06/04		X	Bajo
8	Ñuble, Santa Rosa, Col. B	Pandora-INIA	24/08/04	X		Alto
9	Ñuble, Santa Clara	Quijote	17/08/04	X		Bajo
10	Ñuble, San Isidro	Crac	30/06/04		X	Bajo
11	Ñuble, Maipo Alto	Tamoi-INIA	30/07/04		X	Bajo
12	Ñuble, Talquipén	Huayún-INIA	15/07/04	X		Alto
13	Ñuble, El Centro	SNA-208	09/09/04	X		Bajo
14	Malleco, El Salto	Paleta II	20/05/04		X	Bajo
15	Malleco, Lado Sur	Rialto	25/06/04		X	Alto

ocho variedades en secano (lugares 1-2-6-7-10-11-14-15) y siete en riego (lugares 3-4-5-8-9-12-13), y ocho variedades manejadas con alta tecnología (lugares 2-3-4-5-6-8-12-15) y siete con baja tecnología (lugares 1-7-9-10-11-13-14).

Instrumentos y herramientas utilizadas

Para la toma de datos en terreno se utilizaron los siguientes instrumentos: huincha metálica de 5 m, regla de madera de 1 m, horquetas para recolectar la paja en el cordón, un marco metálico de 1 m², tijerones para cortar la paja en pie a ras del suelo, baldes plásticos de 15 y 125 L para depositar la paja en pie y la del cordón, una balanza de precisión, un trípode metálico de 1,5 m de altura por 1,0 m de ancho para colgar la balanza y los baldes, y bolsas de papel para las muestras de paja.

Datos tomados en terreno

En todos los lugares de muestreo se hizo un recorrido en diagonal a través del potrero, en cada uno de los cuales se utilizaron seis estaciones para la toma de datos, con diferente número de repeticiones para las diferentes variables medidas. En cada estación se hicieron las siguientes mediciones: a) kilogramos de paja existente en 5 m del cordón dejado por la cosechadora, con una muestra por estación; b) kilogramos de paja en pie (cañas) por metro cuadrado, con una muestra por estación; c) ancho de corte (m) de la cosechadora, con dos repeticiones por estación; d) altura de corte (cm) de la cosechadora, con dos repeticiones por estación; e) altura del trigo con dos repeticiones por estación; f) se tomaron además dos muestras de paja por estación para medir el porcentaje de humedad y expresar todos los datos en base a peso seco.

Lo anteriormente señalado entregó un total de 90 repeticiones para densidad de paja en el cordón y para la paja en pie (cañas) por metro cuadrado. Más repeticiones (180) se obtuvieron para la altura del trigo y para el ancho y la altura de corte de la cosechadora.

Procesamiento de los datos

La densidad lineal de la paja en los 5 m del cordón se redujo a kg m⁻¹ y se transformó en kg ha⁻¹ utilizando el ancho de corte de la cosechadora; los kg m⁻² de paja en pie también se llevaron a kg ha⁻¹, para sumarlos a la cantidad de paja en el cordón y obtener la cantidad total de paja por hectárea. Las muestras de paja se secaron en un horno a 70°C y se pesaron diariamente hasta llegar a un peso constante. Las relaciones en

peso paja/grano se obtuvieron dividiendo los respectivos pesos en base seca, asignando al trigo un contenido de humedad de 13% al momento de la cosecha.

Se realizaron comparaciones estadísticas entre las medias de las cantidades de paja en trigos de riego versus secano, sembrados en invierno versus primavera, y con alta versus baja tecnología. Luego se hicieron correlaciones lineales entre el ancho de corte (m) y la cantidad de paja en el cordón (kg m⁻¹), entre la altura de corte (cm) y la cantidad de paja en pie (kg ha⁻¹), entre la altura del trigo (cm) y la cantidad total de paja (kg ha⁻¹), y entre la cantidad total de paja y el rendimiento del trigo (kg ha⁻¹). También se obtuvo la matriz de correlación entre estas variables y se realizó un modelo de regresión por el método stepwise (Webster, 2000).

Para estimar la cantidad total de paja existente en los rastrojos de trigo en Chile se usó la información estadística de ODEPA (2005) y las estimaciones del Ingeniero Agrónomo, Sr. Mario Mellado Z. (2005. Investigador Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilmapu, Chillán, Chile. Comunicación personal), respecto del área con trigo manejada con tecnología alta (40%) y baja (60%), de invierno (50%) y primavera (50%), y de riego (30%) y secano (70%). Estos dos últimos porcentajes se corrigieron a 50% para cada condición considerando que los trigos de la IX Región al sur se siembran en suelos sin riego, pero que no están sujetos a restricción hídrica dada la alta precipitación anual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura del trigo, ancho y altura de corte, humedad de la paja

La altura de las distintas sementeras fluctuó entre 69 y 100 cm, con un promedio de 84 cm, lo cual corresponde bien con las variedades y sistemas de producción estudiados (Cuadro 2). El ancho de corte de las cosechadoras varió entre 3,23 y 6,00 m, dependiendo del modelo de máquina usada en cada lugar. Por otro lado, la altura de corte fluctuó entre 17 y 57 cm, con una media cercana a 35 cm, lo cual es similar a los rangos señalados por Neale y Williams (1993) y Bamaga *et al.* (2003). La menor altura correspondió al predio Los Guindos, comuna de Coihueco, donde el productor pica y entierra toda la paja con una aradura de otoño, para posteriormente sembrar remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en

Cuadro 2. Altura del trigo, ancho y altura de corte de la cosechadora, contenido de humedad de la paja.
Table 2. Wheat height, harvester's cutting width and height, straw moisture content

N°	Lugar de muestreo	Altura trigo		Ancho corte		Altura corte		Contenido humedad de la paja (b.m.s.)
		(cm)	CV(%)	(m)	CV(%)	(cm)	CV(%)	
1	Linares, Yerbas Buenas	100	4,7	3,23	3,1	57	5,5	13,0
2	Linares, Parral	100	4,3	4,07	3,8	25	31,0	10,2
3	Ñuble, El Tranque	79	4,2	4,14	2,9	29	7,4	10,0
4	Ñuble, Santa. Rosa, Q-10	69	12,9	3,75	4,3	33	10,7	9,0
5	Ñuble, Los Guindos	85	9,1	4,87	0,6	17	21,9	6,6
6	Malleco, Los Sauces	83	12,8	6,00	1,1	27	21,6	6,3
7	Ñuble, Santa Isabel	75	4,7	4,70	4,8	38	14,7	9,2
8	Ñuble, Santa Rosa, Col. B	91	5,5	3,67	3,3	44	7,0	8,0
9	Ñuble, Santa Clara	90	6,9	4,03	2,5	48	17,6	8,0
10	Ñuble, San Isidro	74	18,8	4,07	5,6	30	20,4	4,1
11	Ñuble, Maipo Alto	77	7,9	3,75	4,1	18	15,4	3,6
12	Ñuble, Talquipén	78	14,1	4,09	9,9	45	14,4	9,0
13	Ñuble, El Centro	77	8,0	5,33	3,8	28	18,9	10,0
14	Malleco, El Salto	93	2,9	3,49	3,0	35	13,6	7,0
15	Malleco, Lado Sur	88	7,7	3,33	6,1	44	14,4	8,0
	Media	83,9		4,17		34,5		8,1
	CV(%)	11,3		18,3		32,9		29,6

CV: coeficiente de variación.

b.m.s.: porcentaje base materia seca.

primavera. La mayor altura de corte correspondió también a uno de los trigos de mayor altura, el cual sufrió un severo problema de enmalezamiento por exceso de humedad y que fue cosechado cortando alto para no introducir malezas a la máquina. El contenido de humedad de la paja fluctuó entre 3,6 y 13%, con un promedio de 8,1%, lo cual corresponde a las condiciones climáticas del verano 2004-2005 para la zona estudiada.

Cantidad de paja en el cordón, en pie, total, rendimiento del trigo y relación paja/grano

La cantidad de la paja en el cordón varió entre 0,552 y 2,686 kg m⁻¹, con un promedio de 1,037 kg m⁻¹ y un alto coeficiente de variabilidad (50,4%) (Cuadro 3). Estos valores están estrechamente relacionados con el ancho de corte de la cosechadora y puede verificarse que el mayor valor correspondió a la cosechadora con 6 m de ancho de corte usada en Los Sauces. Estos valores de densidad afectan inversamente la velocidad de trabajo de la enfardadora; sin embargo, la capacidad efectiva de trabajo, en ha h⁻¹ y t h⁻¹, debe mantenerse para las distintas cantidades de paja. Se debe señalar también que el extremo superior del rango es similar a lo encontrado por Neale y Williams (1993) en Inglaterra, y el extremo inferior similar a lo informado por Bamaga *et al.*

(2003) para el norte de India, especialmente cuando se considera que los valores en esta investigación están expresados en base seca.

La cantidad de paja por hectárea que queda en el cordón fluctuó entre 1.472 y 4.477 kg, con un promedio de 2.436 kg y un coeficiente de variabilidad de 35,6% (Cuadro 3). Este valor promedio es un buen indicador de la cantidad de paja que podría recolectarse con enfardadora, y es muy similar a lo encontrado por Bamaga *et al.* (2003) en la India, pero algo inferior a lo informado por Neale y Williams (1993) en Inglaterra. A lo anterior se debe agregar que los 7.300 fardos recolectados en 45 ha del predio Los Guindos significaron un promedio de 2.920 kg ha⁻¹ (2.727 kg ha⁻¹ en base seca), lo cual es igual a lo medido en ese predio en esta investigación, que llegó a 2.734 kg ha⁻¹, y es levemente superior al promedio general de los 15 lugares de muestreo.

La cantidad de paja que queda en pie fluctuó entre 1.645 y 5.075 kg ha⁻¹, para un promedio general de 3.998 kg ha⁻¹ y un coeficiente de variabilidad de 20,5% (Cuadro 3). Este promedio corresponde muy bien con lo señalado por varios autores (Crovetto, 2002; Mead y Qaisrani, 2003) como lo necesario para mantener un suelo vigoroso y permitir un

Cuadro 3. Cantidad de paja en el cordón, en pie (cañas), total, rendimiento del trigo y relación en peso paja/grano.
Table 3. Quantity of straw in the swath, standing (stubble), total, wheat yield, and straw/grain relation.

Lugar de muestreo	En cordón		CV (%)	En pie		Total (kg ha ⁻¹)	Rendto. (kg ha ⁻¹)	Relación paja/grano
	(kg m ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	(%)			
1 Linares, Yervas Buenas	0,862	2668	28,3	5075	36,6	7743	3567	2,17
2 Linares, Parral	1,592	3912	16,1	3905	40,6	7817	6053	1,29
3 Ñuble, El Tranque	1,015	2452	15,8	3990	27,4	6442	5946	1,08
4 Ñuble, Sta. Rosa, Q-10	0,552	1472	31,8	3792	18,1	5264	4211	1,25
5 Ñuble, Los Guindos	1,333	2734	19,8	3846	41,3	6580	5307	1,24
6 Malleco, Los Sauces	2,686	4477	25,2	3521	44,1	7998	6786	1,18
7 Ñuble, Sta. Isabel	0,923	1965	44,1	4254	37,9	6219	5220	1,19
8 Ñuble, Sta. Rosa, Col. B	0,925	2520	18,7	4950	46,0	7470	5063	1,48
9 Ñuble, Sta. Clara	0,772	1925	29,8	4839	35,3	6764	5742	1,18
10 Ñuble, San Isidro	0,749	1840	20,8	3657	33,1	5497	3915	1,40
11 Ñuble, Maipo Alto	0,659	1757	9,6	1645	47,8	3402	2262	1,50
12 Ñuble, Talquipén	0,834	2039	22,2	4480	22,3	6519	5742	1,14
13 Ñuble, El Centro	0,960	1801	25,2	3545	45,2	5346	2442	2,19
14 Malleco, El Salto	0,806	2309	18,0	4030	41,9	6339	4872	1,30
15 Malleco, Lado Sur	0,889	2669	23,2	4447	35,6	7116	6525	1,09
Media	1,037	2436		3998		6434	4910	1,38
CV (%)	50,4	35,6		20,5		18,8	28,0	25,3

CV: coeficiente de variación.

adecuado desempeño de las máquinas de labranza y siembra directa. En todos aquellos predios que superen las 4 t ha⁻¹ de paja en pie, es posible utilizar una menor altura de corte de la cosechadora y así también poder recolectar una cantidad mayor de paja enfardada.

La cantidad total de paja existente en los rastrojos alcanzó un promedio de 6.434 kg ha⁻¹ (Cuadro 3), con un bajo coeficiente de variabilidad, la cual puede ser asociada con el rendimiento promedio general del trigo de los 15 lugares estudiados, de 4.910 kg ha⁻¹, para entregar una relación general en peso de paja a grano de 1,38. En relación con estos tres últimos valores destacan los lugares denominados Los Sauces, Parral y Maipo Alto; los dos primeros muestran una gran producción de paja y los mayores rendimientos de trigo. En Maipo Alto se produjo la menor cantidad de paja y menor rendimiento por cuanto se sembró muy tarde (30 de julio), con un bajo nivel de fertilización, mal control de malezas, utilizando cero labranza con tracción animal. El lugar denominado Yervas Buenas muestra una gran producción de paja y un bajo rendimiento, causado por la imposibilidad de entrar con el equipo para controlar las malezas debido a la alta pluviometría de octubre, noviembre y diciembre de 2004 (42,5% mayor que un año normal) y al mal drenaje natural del potrero.

Comparaciones entre los sistemas de producción de alta y baja tecnología, invierno y primavera, riego y seco

En el Cuadro 4 se muestran las comparaciones entre los tres sistemas antes mencionados, debiendo destacarse que la prueba de comparación de medias para cantidad total de paja no estableció diferencias significativas para ninguno de los tres casos, aún cuando los valores muestran mayores producciones de paja de 998 y 1.011 kg ha⁻¹ para los sistemas de alta tecnología y de invierno, respectivamente. Este resultado es bastante lógico para el caso de la alta tecnología por la mayor cantidad de insumos utilizados, y también para el trigo de invierno si se considera el mayor tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha. En el caso de seco versus riego la diferencia sólo alcanza a 176 kg ha⁻¹, pudiendo señalarse una gran coincidencia (87,5%) entre los sistemas de seco y los sembrados en invierno.

Correlaciones ancho de corte-paja en cordón; altura de corte-paja en pie; altura del trigo-paja total; paja total-rendimiento

En el Cuadro 5 se muestran las correlaciones antes mencionadas, observándose que todas muestran coeficientes de correlación altamente significativos. Lo anterior significa que a mayor ancho de corte habrá más kilogramos de paja por metro de cordón, que a mayor altura de corte habrá más paja

Cuadro 4. Comparaciones entre las cantidades totales promedio de paja (kg ha⁻¹) generadas por sistemas de producción de alta y baja tecnología, invierno y primavera, secano y riego.**Table 4. Comparisons between average total quantities of straw (kg ha⁻¹) generated by production systems with high and low technology, winter and spring seeding, with and without irrigation.**

ALTA TECNOLOGÍA: lugares 2-3-4-5-6-8-12-15		BAJA TECNOLOGÍA: lugares 1-7-9-10-11-13-14		
Media	6900 a*	Media	5902 a	Diferencia 998
CV(%)	12,9	CV(%)	23,1	
INVIERNO: lugares 1-2-6-7-10-12-14-15		PRIMAVERA: lugares 3-4-5-8-9-11-13		
Media	6906 b	Media	5895 b	Diferencia 1011
CV(%)	13,1	CV(%)	24,9	
SECANO: lugares 1-2-6-7-10-11-14-15		RIEGO: lugares 3-4-5-8-9-12-13		
Media	6517 c	Media	6341 c	Diferencia 176
CV(%)	23,6	CV(%)	12,4	

Letras iguales horizontalmente indican que los valores no difieren en forma significativa, según el test de Tukey ($P < 0,05$). CV = coeficiente de variación.

Cuadro 5. Correlaciones lineales entre el ancho de corte y la cantidad de paja en el cordón, entre la altura de corte y la cantidad de paja en pie, entre la altura del trigo y la cantidad total de paja, y entre la cantidad total de paja y el rendimiento del trigo.**Table 5. Linear correlations between cutting width and quantity of straw in the swath, between cutting height and standing straw, between wheat height and total straw quantity, and between total straw quantity and wheat yield.**

Lugar de muestreo	Ancho corte (m)	Paja cordón (kg m ⁻¹)	Altura corte (cm)	Paja en pie (kg ha ⁻¹)	Altura trigo (cm)	Total paja (kg ha ⁻¹)	Paja total (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Linares, Yerbas Buenas	3,23	0,862	57	5075	100	7743	7743	3567
Linares, Parral	4,07	1,592	25	3905	100	7817	7817	6053
Ñuble, El Tranque	4,14	1,015	29	3990	79	6442	6442	5946
Ñuble, Sta. Rosa, Q10	3,75	0,552	33	3792	69	5264	5264	4211
Ñuble, Los Guindos	4,87	1,333	17	3846	85	6580	6580	5307
Malleco, San Rafael	6,00	2,686	27	3521	83	7998	7998	6786
Ñuble, Sta. Isabel	4,70	0,923	38	4254	75	6219	6219	5220
Ñuble, Sta. Rosa, Col B	3,67	0,925	44	4950	91	7470	7470	5063
Ñuble, Sta. Clara	4,03	0,772	48	4839	90	6764	6764	5742
Ñuble, San Isidro	4,07	0,749	30	3657	74	5497	5497	3915
Ñuble, Maipo Alto	3,75	0,659	18	1645	77	3402	3402	2262
Ñuble, Talquipén	4,09	0,834	45	4480	78	6519	6519	5742
Ñuble, El Centro	5,33	0,960	28	3545	77	5346	5346	2442
Malleco, El Salto	3,49	0,806	35	4030	93	6339	6339	4872
Malleco, Lado Sur	3,33	0,889	44	4447	88	7116	7116	6525
	r = 0,711**		r = 0,808**		r = 0,685**		r = 0,722**	

** $P < 0,05$.

en pie (kg ha⁻¹), que a mayor altura del trigo habrá una mayor cantidad de paja generada por hectárea, y que a mayor cantidad de paja producida mayor será el rendimiento. Las tres primeras representan algo conocido, pero respecto de la cuarta correlación debe recordarse que en el transcurso de los

años la genética y el manejo agronómico han permitido reducir la altura de los trigos y aumentar los rendimientos.

Por otro lado, la matriz de correlación también mostró que el ancho de corte está fuertemente rela-

cionado con la cantidad de paja en el cordón, y el modelo de regresión mostró que el ancho de corte y la altura del trigo explican significativamente ($r^2=0,69$) la cantidad de paja en el cordón.

Disponibilidad total de paja en los rastrojos de trigo en Chile

El Cuadro 6 muestra, en su parte superior, los totales de paja disponible en el cordón dejado por la cosechadora de acuerdo con los diferentes sistemas de producción. Ellos muestran cantidades muy similares con un promedio levemente superior al millón de toneladas. Cuando se calcula este total usando la disponibilidad promedio general por hectárea también se llega a un valor levemente superior al millón de toneladas. Esta cantidad, que es la que puede recolectarse fácilmente con una enfardadora, puede aumentarse cortando a menor altura con la cosechadora, aún cuando ello puede obligar a reducir la velocidad de avance. Así se podría reducir en unas 0,5 t ha⁻¹ la paja en pie dejando alrededor de 3,5 t ha⁻¹ para proteger al suelo.

En relación con las cantidades de paja en pie y total

para el país, el Cuadro 6 muestra, en su parte inferior, que la primera corresponde a 1.679.160 t y que el total llega a 2.702.280 t, cifra prácticamente igual a la señalada por Madariaga (2003), basado en un índice de cosecha de 0,40. En relación con el destino de esta gran cantidad de paja, un alto número de productores (94%) manifestó que toda o parte de ella es quemada en el potrero, un número menor de productores (40%) la enfarda para utilizarla como forraje, cama de animales estabulados y corta viento en huertos frutales, y un número aún menor (33%) señala que parte de esta paja es incorporada al suelo.

CONCLUSIONES

La densidad de la paja en el cordón que deja la cosechadora varió en un amplio rango de 0,552 a 2,686 kg m⁻¹, con un promedio de 1,037 kg m⁻¹; estos valores están directamente relacionados con el ancho de corte de la cosechadora. La cantidad de paja posible de recolectar con enfardadora desde este cordón fluctuó entre 1,47 y 4,48 t ha⁻¹, con un promedio de 2,44 t ha⁻¹, para un total país levemente superior al millón de toneladas anualmente.

Cuadro 6. Cálculo de la disponibilidad de paja en el cordón dejado por la cosechadora y total en las 420.000 ha de rastrojos de trigo en Chile.

Table 6. Straw availability assessment in the swath left by the harvester and total in the 420,000 ha of wheat stubbles in Chile.

Sistema y área	Disponibilidad (t ha ⁻¹)	Disponibilidad total (t)
EN EL CORDÓN		
Alta tecnología, 40% área = 168.000 ha	2,784	467.712
Baja tecnología, 60% área = 252.000 ha	2,038	513.576
		Total
		981.288
Invierno, 50% área = 210.000 ha	2,735	574.350
Primavera, 50% área = 210.000 ha	2,094	439.740
		Total
		1.014.090
Secano, 50% área = 210.000 ha	2,700	567.000
Riego, 50% área = 210.000 ha	2,135	448.350
		Total
		1.015.350
	Promedio de los tres sistemas	1.003.576
Promedio general de las 420.000 ha	2,436	1.023.120
TOTAL PAÍS		
Paja en cordón: 420.000 ha	2,436	1.023.120
Paja en pie: 420.000 ha	3,998	1.679.160
Paja total: 420.000 ha	6,434	2.702.280

La cantidad de paja que queda en pie, y que aporta a la protección y productividad del suelo, varió entre 1,64 y 5,07 t ha⁻¹, con un promedio cercano a 4,0 t ha⁻¹. La cantidad total de paja varió entre 3,40 y 8,00 t ha⁻¹, con un promedio de 6,43 t ha⁻¹, y para las 420.000 ha con trigo en Chile llega a 2,7 millones de toneladas.

Existen correlaciones significativas directas entre el ancho de corte y la cantidad de paja en el cordón, entre la altura de corte y la cantidad de paja en pie, entre la altura del trigo y el total de paja, y entre el total de paja y el rendimiento del trigo.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado a esta investigación por la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción, a través del Proyecto N° 204.131.006-1.0. También agradecen a los productores de trigo la información proporcionada y las facilidades otorgadas para la toma de datos en sus predios.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. 1988. Straw recovery as affected by wheat harvest method. *Trans. ASAE* 31:1656-1659.
- Bamaga, O., T. Thakur, and M. Verma. 2003. Assessment of cereal straw availability in combine harvested fields and its recovery by baling. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 34(2):53-58.
- Blanchard, E. 1992. Stubble handling begins at harvest. *Western Australia Journal of Agriculture* 33:22-25
- Bragachini, M., R. Gil, L. Bonetto, R. Bongiovanni, y A. Birón. 1993. Utilización de trituradores de paja y esparcidores de granza para una cobertura de suelo más uniforme y eficiente. PROPECO. Informe Técnico N° 8. 9 p. INTA, Manfredi, Argentina.
- Butterworth, B. 1985. *The straw manual: a practical guide to cost-effective straw utilization and disposal*. 212 p. E. and F. N. Spon, London, England.
- Chamen, T., and R. Cope. 1994. The effect of straw incorporation on diesel fuel use and the emission of pollutants. *The Agricultural Engineer* 49(3):89-91.
- Crovetto, C. 1999. Agricultura de conservación: el grano para el hombre, la paja para el suelo. p. 145-170. Eumedia, Madrid, España.
- Crovetto, C. 2002. Cero labranza: los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. p. 69-111. Trama Impresores, Talcahuano, Chile.
- Eshkaraev, U. 2003. Improved harvesting of straw. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 34(3):37-38
- Kumar, K., and K. Goh. 2000. Crop residues and management practices. *Adv. Agron.* 68:197-319
- Madariaga, R. 2003. Vida después de la muerte: rastrojos e incidencias de enfermedades en cultivos anuales. p. 158. *In* E. Acevedo (ed.) *Sustentabilidad en cultivos anuales*. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile
- Mead, J., and R. Qaisrani. 2003. Improving stubble flow through tines on agricultural machinery. *Biosystems Eng.* 85:299-301
- Neale, M., and P. Williams. 1993. A survey of wheat straw swaths and the implications for in-field straw processing equipment. *The Agricultural Engineer* 48:72-74.
- ODEPA. 2005. Bases de datos económicos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Disponible en <http://www.odepa.cl> Leído en mayo 2005
- Riquelme, J. 2003. Mecanización agrícola en cero labranza. p. 111-133. *In* E. Acevedo (ed.) *Sustentabilidad en cultivos anuales*. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Vidal, I., y H. Troncoso. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. p. 57-82. *In* E. Acevedo (ed.) *Sustentabilidad en cultivos anuales*. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Webster, A. 2000. Estadística aplicada a los negocios y la economía. p. 374-409. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.