

Propuestas agronómicas para el cultivo de maíz en explotaciones lecheras ecológicas de Cantabria (España)

Salcedo, G

Dpto. de Calidad e Innovación

Centro Integrado de Formación Profesional “La Granja”, 39792 Heras, Cantabria

DdCI.lagranja@gmail.com

RESUMEN

Se analiza el potencial productivo de los guisantes, habas, trébol incarnatum y violeta utilizados como abono verde (tratamiento Ab_{ve}), comparando con fertilizante químico (C_{ab} , tratamiento testigo) y sin él (S_{ab}) a dos densidades de siembra (Convencional y Doble), como propuestas agronómicas para el cultivo de maíz en las explotaciones lecheras ecológicas de la Cornisa Cantábrica, según un diseño experimental de bloques completos con dos réplicas, durante tres años consecutivos en el mismo terreno.

La materia orgánica del suelo aumentó significativamente con los abonos verdes, sin variaciones el nitrógeno. Las habas y el trébol incarnatum fueron las leguminosas de mayor producción de biomasa ($P<0,05$), aportando más N y P las primeras; K y Ca el segundo. El trébol violeta aporta menos biomasa, debido a su lenta implantación en el terreno. Las habas manifestaron un mejor balance nutritivo a nivel de suelo (aportes – extracciones del maíz y flora arvense) e independientemente del tipo de siembra.

La producción de materia seca de maíz fue similar entre los tratamientos Ab_{ve} y C_{ab} , sin diferencias entre leguminosas y densidad de siembra. La flora arvense fue menor con los abonos verdes ($P<0,05$). Los contenidos de materia seca, proteína bruta, fibras ácido y neutro detergente, materia orgánica digestible y energía metabolizable del maíz no difieren entre tipos de abono, leguminosa y densidad de siembra; pero sí ($P<0,05$), el almidón entre leguminosas ($P<0,05$). Los ácidos grasos mayoritarios del maíz fueron el linoleico, oleico, palmítico y linolenico.

Palabras clave: abonos verdes, flora arvense, alelopatía, densidad siembra, biomasa, valor nutritivo

INTRODUCCION

Las explotaciones ecológicas lecheras del norte de España apenas cultivan maíz para ensilado por imperativos *agronómicos*, transfiriéndoles al ganado algún conflicto *nutricional*. *Agronómico*, porque la Agricultura Ecológica (AE) excluye por completo el uso de productos fitosanitarios químicos y fertilizantes de síntesis. La AE no pretende la erradicación de la flora arvense (Culleton *et al.* 2002), sino mantener sus poblaciones a niveles manejables. Las medidas para el control de la flora arvense son variadas como la *selección de alternativas, falsas siembras, utilización de abonos verdes, escarda mecánica* (Liebman *et al.* 2001). *Nutricional*, bajo porcentaje de proteína en leche (Villar y Salcedo, 2011), atribuido al menor consumo energético, transfiriéndole una baja eficiencia de conversión del N alimenticio en leche, con contenidos de urea altos (Salcedo, 2006). El porcentaje de forraje en la dieta de las vacas lecheras en ecológico no ha de ser inferior al 60% y, al menos, el 50% producido en la explotación. La elevada producción y contenido de almidón del maíz puede contribuir con maximizar producción forrajera, el consumo de energía y la proteína láctea; minimizar la concentración de urea de la leche y la excreción de N al medio ambiente.

Los objetivos del presente trabajo se centran en el estudio de dos técnicas agronómicas que posibiliten el cultivo de maíz para ensilado en las explotaciones lecheras ecológicas del norte peninsular. La hipótesis se fundamenta en que los abonos verdes pueden satisfacer la demanda nutritiva del maíz, mediante la sincronización entre los procesos de descomposición, liberalización, mineralización y utilización del N antes de lixiviarse. El efecto sombreo (doble siembra) y el potencial alelopático del abono verde pueden reducir la flora arvense, poniendo a disposición del maíz más nutrientes y menor contaminación de forraje ensilado; a su vez, más almidón recolectado al menor coste.

MATERIAL Y METODOS

Diseño experimental

El experimento se desarrolló en el CIFP “La Granja”, Heras, Cantabria, España (43°24'N; 3°45'W) durante los años 2010 al 2013. Las temperaturas y precipitaciones durante el estudio fueron proporcionadas por la Agencia Estatal de Meteorología de Cantabria (Cuadro 1). El suelo de textura franco-arcillo-limosa procede de agricultura convencional, con pH, 5,24; materia orgánica oxidable, 1,22%; N, 0,18%; C/N, 3,9; P, 6,4 ppm; Ca, 856 ppm; Mg, 93 ppm; K, 86 ppm y 12,1 meq/100 g suelo la capacidad de intercambio catiónico; Arena, 20%; Arcilla, 33,7; Limo, 46,2%.

Cuadro 1.- Temperatura media y pluviometría

	1970-2000		2010		2011		2012		2013	
	Tª media	Prec.								
Enero	9,23	80	6,91	136	5,48	38	10,3	80	10,3	204
Febrero	9,44	99	7,04	38	8,42	78	7,57	63	9,15	165
Marzo	11,0	88	7,24	57	9,28	53	11,3	37	11,5	66
Abril	11,9	124	10,3	27	11,7	24	10,9	213	9,34	84
Mayo	10,6	85	11,6	86	13,4	27	14,8	72	12,1	163
Junio	17,7	68	14,6	167	14,6	55	17,2	41	15,1	99
Julio	19,7	58	17,3	47	15,7	79	15,8	40	20,1	19
Agosto	20,3	71	17,6	39	17,4	40	17,9	22	19,7	42
Setiembre	18,5	89	13,4	68	17,2	37	18,8	34	18,4	65
Octubre	15,6	124	10,9	102	14,5	55	16,0	151	-	-
Noviembre	12	149	8,54	260	12,7	100	12,9	99	-	-
Diciembre	10,3	121	4,69	134	9,76	105	11,7	101	-	-
TOTALES		1156		1161		691		953		907

Prec.: precipitaciones (mm mes)

El diseño experimental de campo fue de bloques completos con dos repeticiones. Los efectos fijos fueron el *Abonado*: maíz sin fertilizante (S_{ab}); con fertilizante de síntesis (C_{ab}) y con abono verde (Ab_{ve}); *Cultivos forrajeros de invierno* [triticale para siega, Tr; (guisantes, G; habas, H; trébol violeta, Tv e incarnatum, Ti como abonos verdes)] y la *Siembra* (Convencional o Doble) y el *Año* como efecto aleatorio. La superficie de cada cultivo forrajero de invierno (bloque) fue de 490 m² para Tr y 175 m² los G, H, Tv y Ti; posteriormente, cada cultivo fue subdividido en 4 parcelas (2 por tipo de siembra: *Convencional* y *Doble*).

Toma de muestras y preparación del suelo

El cultivo anterior al experimento fue maíz. Antes de la incorporación al suelo de los abonos verdes, después de la recolección del triticale y maíz, se tomaron muestras de tierra a 30 cm de profundidad, para su posterior análisis. La preparación del terreno siempre fue superficial con fresadora a 20 cm de profundidad sin inversión de capas.

Abonado e incorporación del abono verde

Durante los años de experimento el 50% de la superficie del Tr (244 m²) se fertilizó con 46-46-46 kg de N-P₂O₅-K₂O ha⁻¹, 93-76-88 kg ha como abonado de fondo el triticale y maíz (tratamiento C_{ab}) y sin fertilizante el 50% restante (tratamiento S_{ab}). En todos los casos el maíz no recibió fertilización nitrogenada extra en cobertera. El tratamiento S_{ab} sirvió para estimar la eficiencia fertilizante del abono verde. Las leguminosas no recibieron ningún tipo de fertilización. Todo el forraje de la superficie de triticale (tratamientos C_{ab} y S_{ab}) se segó al *inicio del espigado* y ensilado a mediados de abril, coincidiendo con el picado de leguminosas. Este último se realizó con una desbrozadora suspendida de 1,5 m de ancho en el estado de *plena floración* los guisantes; *vainas con grano*, las habas; *formación de botones florales* y *plena floración*, el trébol violeta e incarnatum respectivamente. Las leguminosas fueron incorporadas al suelo con fresadora después de 24 horas de presecado.

Siembra

La siembra del triticale y guisantes se realizó con sembradora de chorrillo y a mano las habas y tréboles a mediados de Octubre. La dosis de siembra, leguminosa y cultivar fueron de 200 kg ha⁻¹ las H (cv. 'Protobon') y G (cv. 'Alazan'); 22 kg ha⁻¹ los tréboles (cv. 'Suez' el Violeta) y (cv. 'Asterix' el Incarmatun); 225 kg ha⁻¹ Tr (cv. 'Titania') y (cv. 'Mas A33') el maíz. La siembra de maíz se llevó a cabo en la primera semana de Mayo con sembradora neumática de precisión, a la dosis de 80000 y 124000 plantas hectárea en Convencional y la Doble respectivamente. El 17 de Junio del 2013 se resembró el maíz debido a una mala germinación causada por bajas temperaturas y precipitación excesiva (Cuadro 1). El marco de siembra fue de 60 cm la Convencional y 30 cm la Doble.

Controles

- **Cultivos forrajeros de invierno:** la biomasa aérea se estimó mediante siegas de 0,75 m², a 5 cm del suelo sobre una superficie de 0,5 x 0,5 m con segadora manual a pilas, siguiendo un recorrido en zig-zag. Toda la muestra fue secada en estufa a 60 °C durante 48 horas y molida a 1 mm para su posterior análisis. La biomasa radicular se muestreó de igual forma y lavada con agua fría, secada y molida igualmente biomasa aérea.

- **Maíz:** la producción de forraje de cada tratamiento se estimó mediante siega de 5 metros lineales en las dos filas interiores de cada bloque y tratamiento. La recolección se llevó a cabo en la segunda quincena de setiembre en el estado medio pastoso-vítreo (línea de leche situada entre 1/3 y 1/2 del ápice del grano). Las plantas fueron pesadas, picadas y trasladadas al laboratorio del CIFP en bolsas de plástico,

secándose en estufa a 60 °C durante 48 horas. Posteriormente, el forraje fue molido a 1 mm, conservándose en tres contenedores de plástico herméticos de 500 ml hasta su posterior análisis; uno para determinar el contenido de principios nutritivos, el segundo para el de ácidos grasos y el tercero el almidón. Otras determinaciones consistieron en medir la altura de la planta, altura a la mazorca, longitud de la mazorca y peso de la misma sobre 10 plantas de cada tratamiento.

- **Flora arvense:** mediante siegas de 0,50 m² antes de la recolección del maíz, siguiendo el mismo protocolo de secado y molido que los forrajes de invierno para su posterior análisis químico.

Determinaciones analíticas

- **Suelo:** las muestras de suelo fueron secadas al aire, tamizadas y molidas a 1 mm, determinándose en el Laboratorio Agrario del CIFA (Centro de Investigación y Formación Agraria) las fracciones de arena, arcilla y limo por el método de Bouyoucos (MAPA, 1982); P asimilable (Olsen); K; Mg; Ca por espectrofotometría de absorción atómica AA-6300, Shimadzu por extracción con acetato amónico a pH 7 (MAPA, 1994). La capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g suelo) por extracción con acetato amónico a pH 7 y KCl modificando el método, para automatización del proceso determinándose por destilación Kjeldahl PN-1430 de Selecta (MAPA, 1994). La materia orgánica oxidable (Walkely y Black, 1965); pH con potenciómetro Crison BasiC20 en el extracto de saturación de agua (1/2,5) (Richards, 1954); N total con el Kjeltec™ 2300 en el CIFP “La Granja”.

- **Maíz:** la materia seca final a 103°C y cenizas a 550°C; la proteína bruta (PB) como N-Kjeldahl x 6,25 con el Kjeltec™ 2300 de TECATOR; la fibra ácido detergente (FAD) según Goering y Van Soest, (1970); la fibra neutro detergente (FND) según Van Soest y Robertson (1991); la digestibilidad neutro detergente-celulasa de la materia orgánica (DenzMOndc) según Riveros y Argamenteira, (1987), estimándose la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (DMOestndc); la energía metabolizable (EM) en MJ kg⁻¹ de MS, estimada como: $K \times MOD$, donde MOD (Materia Orgánica Digestible) = $MO \times D_v / 100$ y $K=0,15$ para el ensilado de maíz (MAFF, 1984). El contenido de almidón fue analizado en el Serida de Villaviciosa (Soldado *et al.*, 2003). La concentración de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu y Zn a partir de la mineralización de la muestra y sobre sus cenizas por espectrofotometría de absorción atómica (emisión atómica en el caso del potasio) con el espectrofotómetro de Absorción AA-6300, Shimadzu. El P a partir de la mineralización de la muestra a cenizas y su determinación mediante el método colorimétrico del complejo amarillo del fosfomolibdovanadato con un espectrofotómetro UV-4200, ZuZi.

- **Abonos verdes y flora arvense:** los contenidos de N, P, K, Ca y Mg fueron analizados de igual modo.

Cálculos

La eficiencia de utilización del N (NUE) se estimó como los kg de materia seca por kg de N aplicado = $[(\text{kg MS a } N_x - \text{kg de MS } N_0) / \text{kg } N_x]$, siendo x = el N aplicado. El N, P y K aparentemente recobrado (NAR, PAR y KAR: kg N, P y K forraje hg^{-1} N, P y K aplicado) de cada tratamiento fue calculado como: $\text{NAR}_x, \text{PAR}_x$ y $\text{KAR}_x = [(\text{kg de N, P y K recobrado en el forraje a } N_x, P_x \text{ y } K_x - \text{kg de N, P y K recobrado en el forraje a } N_0, P_0 \text{ y } K_0) / \text{kg N, P y K aplicado a } N_x, P_x \text{ y } K_x]$, siendo x = kg de N, P y K aplicado.

Análisis estadístico

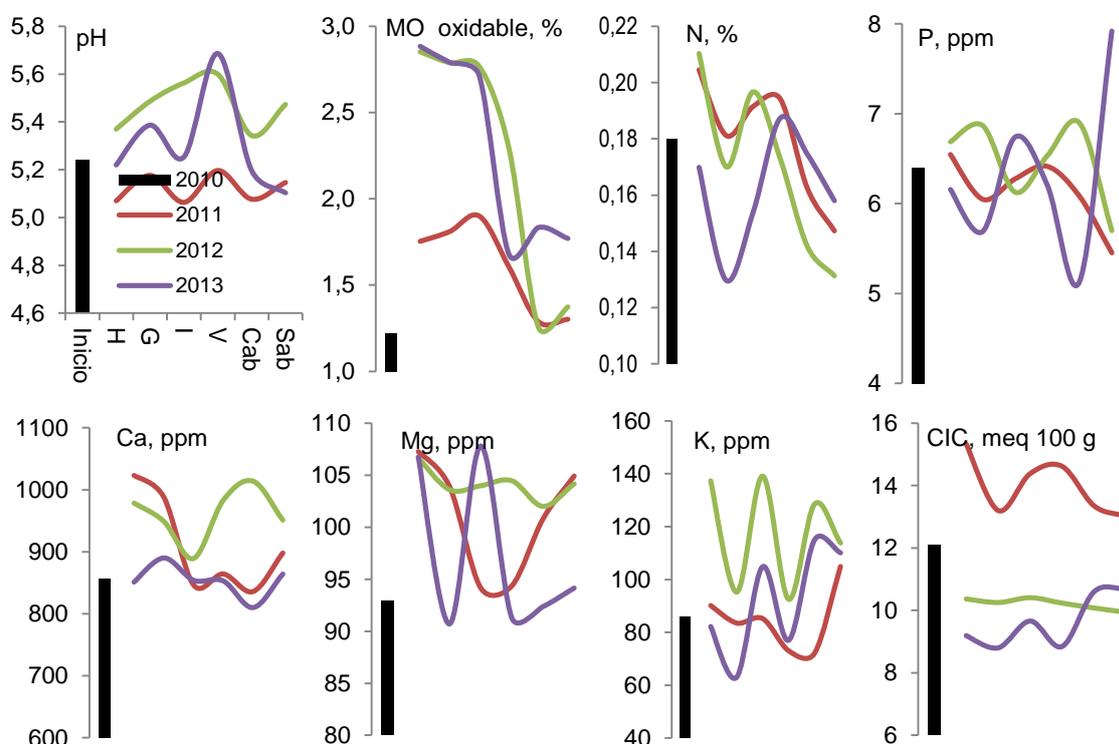
Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza. Los efectos fijos incluidos fueron el *Abonado*: (maíz sin abono de síntesis, S_{ab}); maíz con abono químico (C_{ab}) y maíz con abono verde (Ab_{ve}); *Cultivo* (Triticale, Guisantes, Habas, Trébol violeta e incarnatum) y la *Siembra* (Convencional o Doble) y el *Año* como efecto aleatorio, con el Modelo Lineal Mixto (SPSS, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSION

Evolución del suelo

La evolución de los nutrientes del suelo viene señalada en el Cuadro 2 y de forma gráfica en la Figura 2. El pH fue diferente entre los meses de Abril (antes del enterrado de las leguminosas) y después de la cosecha del maíz en Septiembre ($P < 0,05$), sin diferencias en C_{ab} y S_{ab} . La materia orgánica oxidable aumentó 0,81 unidades porcentuales (up) para el conjunto de cultivos respecto al inicio del experimento (Cuadro 2), 1,1 up en las leguminosas y sin diferencias en los tratamientos C_{ab} y S_{ab} . La proporción de N fue mayor en las leguminosas y en Abril ($P < 0,05$), imputable a la propia fijación biológica *per se*. La cantidad de N disponible para el maíz con abonos verdes está influenciada por la relación C/N de la biomasa incorporada al suelo (Reddy *et al.* (2008), aumentando el flujo de CO_2 del suelo e intensificándose la mineralización dentro de las dos semanas siguientes (Tosti *et al.* 2012). La relación C/N para el conjunto de leguminosas fue 19,6, superior a $12,2 \pm 5,6$ en purín de vacuno lechero (Salcedo, 2011), dando lugar alguna cantidad de N inmovilizado.

Figura 1.- Evolución del suelo en el tiempo



El fósforo del suelo (Cuadro 2) disminuyó significativamente en el tiempo ($P < 0,05$) respecto a la concentración inicial (Figura 1). La pérdida de fósforo entre los meses de Abril (antes del enterrado) y Septiembre (después de la recolección del maíz) disminuyó 0,41 ppm ($P < 0,05$). No obstante, es difícil atribuirle al abonado (orgánico o inorgánico) aquel descenso, porque el fósforo inicial de partida era bajo (Cuadro 2) y con un $pH \leq 6,5$ las concentraciones de 6,5 ppm son consideradas bajas, al igual que el fósforo aparentemente recuperado (Cuadro 5).

Cuadro 2.- Evolución del suelo antes de la incorporación de los abonos verdes (Abril) y después de la recolección del maíz (Septiembre)

	Octubre		Abril		Setiembre			Cultivo de maíz		
	Inicio	L	C _{ab}	S _{ab}	L	C _{ab}	S _{ab}	Abril	Sep.	P
pH	5,24a	5,25a	5,19a	5,14a	5,50b	5,27a	5,18a	5,23	5,36	*
MO _t , %	1,59a	2,76b	1,82a	1,68a	3,25b	1,91a	1,98a	2,47	2,69	NS
MO _{ox} , %	1,22a	2,13b	1,40a	1,29a	2,50b	1,47a	1,52a	1,90	2,07	NS
N, %	0,17bc	0,189c	0,152a	0,149a	0,19bc	0,15ab	0,141a	0,17	0,16	*
P ¹	6,5bc	6,55bc	7,29de	6,91cd	6,13b	5,54a	7,58e	6,73	6,32	*
Ca ¹	855a	910ab	925ab	899ab	945b	897ab	889ab	912	923	NS
Mg ¹	93a	98ab	101bc	101bc	106c	99ab	101bc	99	103	***
K ¹	86abc	103bcd	128d	106cd	93abc	74a	77ab	108	86	***
CIC	16d	12,1abc	12,2bc	13,2c	11,1ab	10,1a	10,4ab	12,2	10,7	***
C/N	5,25a	8,95cd	7,03abc	6,63ab	10,7d	7,02abc	8,11bc	8,34	9,39	NS

MO: materia orgánica oxidable; CIC: capacidad de intercambio catiónico, meq 100 g suelo; L: leguminosas; C_{ab}: con abono; S_{ab}: sin abono; a,b,c,d,e dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$; *: $P < 0,05$; ***: $P < 0,001$

El calcio incrementó levemente respecto al inicial, no obstante los niveles obtenidos son inferiores a 2000 ppm considerados como aceptables. El Mg aumentó significativamente en el tiempo ($P<0,05$) y diferente en los meses de Abril (99 ppm) y Septiembre (103 ppm) (Cuadro 2). El potasio inicial era bajo (<125 ppm), aumentando significativamente ($P<0,05$) con el aporte de leguminosas.

Producción de biomasa, composición química y aporte de nutrientes de los CFI

Las habas fue el cultivo que más biomasa aporta al suelo ($P<0,05$), seguido del trébol incarnatum con un 28% menos (Cuadro 3). El sistema radicular de ambas leguminosas contribuye con el 13,7% y 6,8% respectivamente a la materia seca total. La menor del trébol violeta ($P<0,05$) es imputada a su lenta implantación en el terreno, sin diferencias en la contribución porcentual de N respecto a las habas, con extracciones medias de 2,72 y 2,71 kg de N por 100 kg de materia seca (hojas + raíces) respectivamente.

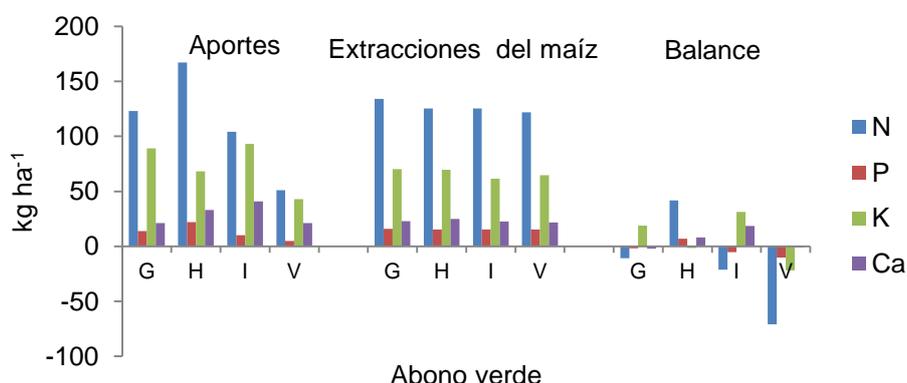
Cuadro 3.- Biomasa y extracciones/aportes de nutrientes al suelo

	Guisantes	Habines	T. Incarnatum	T. Violeta	std	P
MS _{hojas} , kg ha ⁻¹	3164b	5306c	3795b	1783a	1461	***
MS _{raíces} , kg ha ⁻¹	79a	843d	277c	90b	99	***
MS _{hojas+raíces} , kg ha ⁻¹	3243b	6149c	4073b	1872a	1547	***
MO _{hojas} , kg ha ⁻¹	2904b	5048c	3429b	1612a	1325	***
MO _{raíces} , kg ha ⁻¹	68a	653c	250b	81a	89	***
MO _{hojas+raíces} , kg ha ⁻¹	2952b	5494c	3673b	1689a	1402	***
N, kg ha ⁻¹	123b	167c	104b	51a	46	***
P, kg ha ⁻¹	14c	22d	10b	5a	4	***
K, kg ha ⁻¹	89bc	68b	93c	43a	35	***
Ca, kg ha ⁻¹	21a	33b	41c	21a	8	***

MS: materia seca; MO: materia orgánica oxidable; L: leguminosas; C_{ab}: con abono; S_{ab}: sin abono; std: desviación estándar; a,b,c,d dentro de la misma fila difieren $P<0,05$; *** $P<0,001$

Las habas aportan más N y P al suelo ($P<0,05$); mientras, el K y Ca es mayor en el trébol incarnatum ($P<0,05$). Independientemente del tipo de siembra elegido (Convencional o Doble) y dentro de cada leguminosa, las habas proporcionan balances positivos [Aportes – Extracciones (maíz y flora arvense)] de 41 kg ha⁻¹ el N; 7 el P y 8 el Ca; por el contrario, el K (-1,6 kg ha⁻¹) se situó muy al límite (Figura 2). Mientras el trébol incarnatum solo fue positivo el N y K en 31 y 18 kg ha⁻¹ respectivamente, y negativo en el trébol violeta para todos los elementos analizados.

Figura 2.- Aportes de los abonos verdes y las extracciones del maíz



El Cuadro 4 indica las diferencias nutritivas de la parte aérea y radicular de las leguminosas respecto al purín de vacuno lechero. El contenido medio de N, P, Ca, K y materia orgánica en el conjunto leguminosas fue $29,4 \pm 5,2$; $2,8 \pm 0,79$; $8,5 \pm 2,6$; $20,2 \pm 5,5$; 921 ± 17 g kg⁻¹ MS respectivamente. El del N y P fue inferior a los del purín en un 22,6% y 62% respectivamente, sin diferencias el Ca y K, pero mayor la materia orgánica. La relación C/N de la parte aérea no difiere de la radicular, observándose valores medios de 18,6 y 18,4 respectivamente; superiores en 34% al purín de vacuno lechero. Los porcentajes de N, P, K y Ca de las raíces en relación a la parte aérea fueron del 87%, 97%, 52% 75% y 93% respectivamente, superiores al 63% observado por Ozpinar y Bayketin (2006) en las raíces de veza.

Cuadro 4.- Composición química de los abonos verdes y purín vacuno leche

	Guisantes ¹		Habas ¹		Incarnatum ¹		Violeta ¹		Purín ¹	Parte veg.	Cultivo	P*C
	P	R	P	R	P	R	P	R				
N	3,53	2,67	2,97	2,44	2,54	2,7	2,71	2,48	3,8	***	***	***
P	0,31	0,28	0,31	0,28	0,24	0,25	0,26	0,27	0,74	NS	NS	NS
Ca	0,60	0,57	0,61	0,55	1,06	0,31	1,14	0,34	0,83	***	***	***
K	1,74	1,7	1,63	1,69	2,31	1,37	2,40	1,28	2,19	NS	***	***
MO	91,7	85,9	94,9	78,1	91,1	89,7	90,5	88,7	74,0	***	***	***
C/N	15,6	18,7	18,7	18,6	20,8	19,2	19,4	20,9	12,2	***	NS	***

¹: (Salcedo, 2011), valores expresados en g por 100 g de materia seca; P: planta; R: raíz; *** P<0,001

Características botánicas, rendimientos y composición química del maíz

El menor número de plantas por hectárea en siembra convencional respecto a las programadas, fue debido a los ataques de *Sesamia nonagrioides* en los años 2012 y 2013. La altura de la planta y a la mazorca fue similar entre el tipo de abonado, leguminosa y siembra (Cuadro 5), con valores medios para las leguminosas de 238 ± 39 y 79 ± 19 cm respectivamente. Estos resultados son inferiores a 275 cm señalados por Martínez *et al.*, (2009) con aportes de 138-73-171 kg de N-P-K ha⁻¹ con purín de vacuno lechero y abono verde (*Vicia faba* L.) el primer año y, de raigrás

italiano no alternativo y trébol violeta (*Trifolium pratense* L.) el segundo (Martínez *et al.* 2009).

El porcentaje de materia seca de la mazorca respecto al total de la planta no difiere entre tipos de abonado, siembra y leguminosas. El menor porcentaje numérico se localiza en el trébol violeta (39,6%) y el máximo de 43% en los guisantes. La longitud de la mazorca fue mayor en el tratamiento C_{ab} ($P<0,05$), sin diferencias significativas entre leguminosas y, superior en siembra convencional ($P<0,05$) (Cuadro 5). El nutriente mejor relacionado con la longitud de la mazorca fue el fósforo ($r=0,50$, $P<0,05$), quien explica el mayor contenido de almidón del maíz.

La producción de maíz con abonos verdes fue $10067 \text{ kg de MS ha}^{-1}$, similar al tratamiento C_{ab} , sin diferencias significativas entre leguminosas y tipo de siembra (Cuadro 5). El N fue el nutriente mejor relacionado con la producción de biomasa ($r=0,31$, $P<0,01$). La eficiencia de utilización del nitrógeno (NUE) fue superior en los tréboles ($P<0,01$) y la menor en las habas y guisantes (Cuadro 5), sin diferencias entre abonados y siembras, con valores medios de 34 y 35 kg MS respectivamente, dentro del rango 25 a 85 kg MS señalado por Cahill *et al.*, (2007). El nitrógeno aparentemente recuperado (NAR) entre leguminosas fue mayor en el trébol violeta ($P<0,05$), sin diferencias el fósforo (PAR) y para el potasio (KAR) fue menor en el trébol incarnatum (Cuadro 5).

La producción de materia seca de la flora arvense fue mayor en el tratamiento C_{ab} ($P<0,05$) y, similar en S_{ab} y C_{ab} (Cuadro 5). Entre leguminosas, la menor biomasa arvense se localizó en el trébol incarnatum ($P<0,05$), posiblemente debido a una superior fitotoxicidad, con porcentajes inferiores del 26%, 13,7%, 17,7% en los guisantes, habas y violeta respectivamente. Entre siembras fue menor la doble ($P<0,001$), imputable al efecto sombreado del maíz. Producciones de $6,8 \text{ t MS ha}^{-1}$ de arvenses son señaladas por Martínez *et al.*, (2009) imputable al aporte de purín de vacuno utilizado como fertilizante. Posiblemente el purín incrementa el banco de semillas procedente de la digestión de los rumiantes.

Las concentraciones de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibras ácido y neutro detergente (FAD y FND), materia orgánica digestible (MOD y energía metabolizable (EM) no difieren entre los efectos fijos analizados (Cuadro 5). El almidón fue mayor en C_{ab} ($P<0,05$), coincidente con Vanegas *et al.*, (2010), quienes observan diferencias entre los sistemas convencional y ecológico y, similares entre S_{ab} y Ab_{ve} (Cuadro 5), relacionándose positivamente con el aporte de fósforo ($r=0,45$, $P<0,01$). La leguminosa que más incrementó la concentración de almidón del maíz fue el trébol violeta ($340 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) y la menor ($P<0,05$) de $297 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, con habas. La mayor proporción de fósforo se registró en C_{ab} ($1,51 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), sin diferencias entre

leguminosas y siembras (Cuadro 5), observándose una leve pero significativa relación respecto al aporte de P ($r=0,27$, $P<0,01$).

Las concentraciones de almidón, MOD, Ca y P con abonos verdes son ligeramente inferiores a los señalados por *Martínez et al.*, (2012) en siembras de maíz convencional, superior la FND y similar proteína bruta. Concentraciones del 46,5% inferiores para la proteína bruta del 12,3% la fibra neutro detergente a las del presente trabajo con leguminosas son obtenidas por *Bande et al.*, (2014) para maíz fertilizado con 190-54-187 kg ha de N-P-K y sin empleo de herbicidas.

La grasa bruta (GB) y el perfil de ácidos grasos (AGs) fueron estadísticamente similares entre C_{ab} y Ab_{ve} , sin diferencias entre siembras (Cuadro 5). Los AGs mayoritarios fueron el linoleico, oleico, palmítico y linolénico, coincidente con *Khan et al.*, (2012). Los glicerolípidos de la membrana en las gramíneas están dominados por C18:3, mientras que las del almacenamiento de lípidos en cereales están dominados por C18:2 (Van Ranst, 2009). Durante la maduración del grano, los contenidos de C18:1 y C18:2 incrementan en toda la planta debido al crecimiento y acumulación de AGs en las hojas, mientras el C18:3 decrece debido a la rápida senescencia de las hojas (*Khan et al.*, 2011b). En el presente trabajo el oleico y linoleico se relacionaron positivamente con el almidón de la planta ($r=0,36$ y $r=0,34$, $P<0,05$) respectivamente; mientras el linolénico lo hizo con el N ($r=0,63$, $P<0,01$).

Cuadro 5.- Diferencias de rendimientos y su composición química entre los diferentes tratamientos

	ABONADO				LEGUMINOSAS					SIEMBRA			P
	S _{ab}	C _{ab}	Ab _{ve}	std	G	H	I	V	std	Conven.	Doble	std	
Características botánicas													
Nº plantas finales ha	85989a	86676a	85842a	35508	83734a	86988a	87950a	84698a	36650	58017	113995	35509	***
Altura planta, cm	240a	240a	238a	38	231a	240a	237a	246a	40	238	241	38	NS
Altura mazorca, cm	71a	77a	78a	19	71a	83a	77a	84a	19,8	74	81	19	NS
Peso mazorca, %	44,4a	43,7a	41,8a	8,6	43a	42,8a	41,8a	39,6a	8,7	43,9	41,2	8,6	NS
Longitud mazorca, cm	21,3a	28,1b	23,7a	1,7	25,2a	25,0a	21,6a	23,1a	2,0	25,5	23,9	2,4	*
Producción de biomasa y eficiencias													
Maíz, kg MS ha	7565a	10752b	10067b	3208	9599a	10080a	10415a	10178a	3365	9459	10071	3338	NS
Malas hierbas, kg MS ha	936a	1657b	819a	309	942b	802ab	692a	841ab	269	1115	843	435	***
NUE, Kg MS kg ⁻¹ N	-	34,2	35,5	28	18,5a	15,5a	42b	65c	30,6	30	40	28	NS
NAR, kg kg ⁻¹	-	0,427	0,479	0,38	0,548b	0,271a	0,486b	0,61c	0,41	0,28	0,55	0,38	NS
PAR, kg kg ⁻¹	-	0,107	0,246	0,40	0,271a	0,133a	0,27a	0,31a	0,45	0,09	0,31	0,36	**
KAR, kg kg ⁻¹	-	0,351	0,261	0,25	0,325b	0,324b	0,097a	0,298b	0,25	0,19	0,21	0,26	NS
Principios nutritivos y perfil de ácidos grasos													
MS, g kg MS	313a	315a	309a	35	296a	306a	318a	317a	41	308	315	35	NS
Cenizas, g kg MS	27,1a	26,4a	29,9b	3,2	30,3ab	31,4b	29,1s	29,1a	2,62	28,9	28,9	3,3	NS
PB, g kg MS	75,2a	79,6a	83,8a	22,9	89,4a	83,7a	83,5a	78,8a	18,6	82,7	80,7	23,0	NS
FAD, g kg MS	303b	314b	279a	39,7	288a	277a	272a	280a	30	288	290	40	NS
FND, g kg MS	549a	547a	529a	71	533a	553a	524a	510a	64	539	534	71	NS
MOD, g kg MS	693a	693a	680a	38	691a	686a	672a	672a	40	683	686	38	NS
EM, MJ kg MS	11,07a	11,04a	10,88a	0,59	11,1a	10,9a	10,7a	10,7a	0,64	10,9	11,0	0,6	NS
Almidón, g kg MS	336a	414b	322a	65	332ab	297a	324ab	340b	31	345	336	65	NS
P, g kg MS	1,41ab	1,51b	1,34a	0,21	1,39a	1,31a	1,34a	1,31a	0,23	1,38	1,39	0,21	NS
Ca, g kg MS	1,56a	1,5a	1,79b	0,35	1,77a	1,98ab	1,78a	1,64a	0,31	1,74	1,68	0,36	NS
Mg, g kg MS	1,31a	1,38ab	1,58b	0,41	1,56a	1,60a	1,70a	1,47a	0,35	1,57	1,44	0,41	NS
K, g kg MS	4,5a	4,6a	5,03a	1,46	5,25a	5,31a	4,61a	4,98a	1,55	4,81	4,96	1,46	NS
GB, g kg MS	19,4a	21,4b	20,7b	1,65	21,1ab	19,8a	21,3b	20,8ab	1,69	20,5	20,8	1,7	NS
Laurico, g kg MS	0,039b	0,032a	0,038b	0,007	0,039a	0,036a	0,038a	0,040a	0,006	0,040	0,035	0,007	***
Mirístico, g kg MS	0,035a	0,035a	0,042b	0,009	0,044a	0,04a	0,043a	0,039a	0,009	0,043	0,035	0,009	***
Palmitico, g kg MS	1,94a	2,13b	2,19b	0,17	2,23b	2,08a	2,28b	2,18ab	0,16	2,11	2,15	0,17	NS
Palmitoleico, g kg MS	0,019a	0,023a	0,021a	0,013	0,026a	0,017a	0,022a	0,016a	0,012	0,021	0,021	0,013	NS
Estearico, g kg	0,32a	0,34a	0,33a	0,04	0,32ab	0,31a	0,36c	0,34bc	0,040	0,32	0,34	0,04	***
Oleico, g kg MS	4,26a	4,64b	4,57b	0,44	4,72b	4,31a	4,76b	4,49ab	0,45	4,49	4,56	0,44	NS
Linoleico, g kg MS	11,9a	13,3c	12,5b	1,03	12,7a	12,0a	12,7a	12,7a	1,03	12,46	12,71	1,04	NS
Linolénico, g kg MS	0,49a	0,55a	0,69b	0,12	0,71a	0,65a	0,68a	0,72a	0,11	0,65	0,60	0,127	NS
Aráquico, g kg MS	0,22a	0,26b	0,19a	0,06	0,16a	0,21b	0,21b	0,20b	0,06	0,216	0,214	0,061	NS
AGs, g kg MS	19,3a	21,3b	20,6b	1,67	20,9ab	19,7a	21,1b	20,7ab	1,69	20,4	20,7	1,6	NS

a,b,c,d,e dentro cada fila y efecto fijo difieren P<0,05

CONCLUSIONES

Según la hipótesis de partida, los abonos verdes pueden contribuir a satisfacer las necesidades nutritivas del maíz, al menos en los dos primeros años con habas y trébol incarnatum. La mayor producción de biomasa (maíz y arvenses) se localiza con abonos químicos, reduciéndose con abonos verdes por un efecto alelopático. El menor porcentaje de mazorca observado en las siembras dobles, puede ser compensado con un aumento de producción, sin diferencias en la concentración de almidón. La siembra y el tipo de leguminosa no afecta al contenido en principios nutritivos del maíz. Se sugiere no alargar más de dos años las dos técnicas agronómicas analizadas, por la pérdida de fósforo en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Adela Martínez del SERIDA de Villaviciosa (Asturias) por los análisis de almidón y a Carmela Andrés del Laboratorio Agroalimentario de Santander por la determinación de los ácidos grasos.

BIBLIOGRAFIA

- Bande M.J, Pereira S, Valladares J. 2014. Control de malas hierbas en el cultivo del maíz forrajero en Galicia. En: Pastos y PAC, Ed.: Juan Busque, Gregorio Salcedo, Emma Serrano, Manuel Mora y Benito Fernández, pp: 287-294. Potes, España. SEEP.
- Cahill S, Osmond D, Crozier D, Israel D, Weisz R. 2007. Winter wheat and maize response to urea ammonium nitrate and a new urea formaldehyde polymer fertiliser. *Agron. J.* 99,1645-1653.
- Culleton N, Barry P, Fox R, Schulte R, Finn J. (eds). 2002. Principles of Successful Organic Farming. NDP- AFDA, Teagasc, Dublin, Irlanda.
- Goering H, Van Sest P. 1970. Forage fiber analisis. Ag. Handbok Nº. 379. Washington DC ARS USDA.
- Khan N, Tewoldebrhan T, Zom R, Cone J, Hendriks W. 2012. Effect of corn silage harvest maturity and concentrate type on milk fatty acid composition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 1472–1483.
- Liebman M, Mohler C, Staver C. 2001. Ecological management of agricultural weeds. 544 pp. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- MAFF, 1984. Energy allowances and feeding systms for ruminants, Reference Book 443. Her Majesty's Sationary Office. London (UK).
- MAPA. 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Suelos y Aguas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Martínez, A, Pedrol N, Martínez, A. 2009. Maíz para ensilar cultivado en sistemas de producción convencional o ecológica. En: La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas. Ed: Ramón Reiné, Olivia Barrantes, Alfonso Broca y Carlos Ferrer, pp: 391-397. Huesca, España. SEEP.
- Martínez A, Peláez R, Argamentería A, Soldado A, González A, de la Roza B. 2012. Evaluación agronómica de maíz tras aplicación de combinaciones de productos de calcio en terrenos ácidos. En: *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*. Ed.: Rosa Mª Canals y Leticia San Emeterio, pp: 525-430. Pamplona, España. SEEP.
- Van Ranst G. 2009. Effect of ensiling on fatty acid composition and lipid metabolism in forages and the possible role of polyphenol oxidase. Ph.D. Thesis. Ghent University, Ghent, Belgium.
- Van Soest P, Robertson J, Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Richards L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. Handbook Nº 60, U.S. Dept. Of Agri., Washington.
- Reddy K, Mohanty M, Rao D, Singh M, Dalal R, Rao A, Pandey M, Menzies N. 2008. Nitrogen mineralization in a vertisol from organic manures, green manures and crop residues in relation to their quality. *Agrochimica* 52, 377–388.

- Riveros E, Argamentería A. 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes. 1. Forrajes verdes. 2. Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal* 12-49.
- Salcedo G. 2006. Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. Documentos técnicos de Medio Ambiente, Consejería Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria. 263 pág.
- Salcedo G. 2011. Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente, 681 pág.
- Soldado A, Fernández O, Martínez A, de la Roza B. 2003. Determinación rápida de almidón en ensilados de maíz mediante el empleo del analizador bioquímico YSI 2700, Izasa Lab, Nº1/ 03, 22-23.
- SPSS, 2006. SPSS for Windows, version 15.0 Ed. SPSS Inc., Chicago (USA).
- Tosti G, Benincasa P, Farneselli M, Pace R, Tei F, Guiducci M, Thorup-Kristensen K. 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley – hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. *Europ. J. Agronomy* 43, 136–146.
- Villar A, Salcedo, G. 2011. Recomendaciones para la mejora de la leche ecológica. Gobierno de Cantabria. Consejería de Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural.
- Ozpinar S, y Baytekin H. 2006. Effects of tillage on biomass, roots, N accumulation of vetch (*Vicia sativa L.*) on clay loam soil in semi-arid conditions. *Field Crops Research* 96, 235-242.
- Vanegas J, Vicente F, González M, Argamentería A, de la Roza B, Martínez A. 2010. Efecto de dos sistemas de manejo (convencional y ecológico) en la producción y principios nutritivos del maíz forrajero para ensilar. En: Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI. Ed.: Celia López-Carrasco, María del Pilar Rodríguez, Alfonso San Miguel, Federico Fernández, Sonia Roig, pp: 257-262. Toledo, España. SEEP.