

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y BALANCE DE NUTRIENTES EN CEBADA CERVECERA

MARÍA ROSA LANDRISCINI¹; MARÍA AURORA LÁZZARI² & JUAN ALBERTO GALANTINI³

1 CERZOS (UNS-CONICET)

2 Departamento de Agronomía (UNS)

3 CIC, CERZOS-UNS

1,2,3 Dpto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, San Andrés 800, 8000 Bahía Blanca

Correo Electrónico: mlandris@criba.edu.ar

Recibido: 14-11-09

Aceptado: 10-11-10

RESUMEN

La difusión de cebada cervecera (CC) con alto potencial de rendimiento aumenta los requerimientos de nutrientes, por ello el déficit y el desbalance nutricional serán limitantes de la producción. El Sistema DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) utiliza relaciones entre nutrientes foliares e indica el orden en que los nutrientes están limitando el rendimiento. Los objetivos del estudio fueron: a) establecer el orden de requerimientos nutricionales de los principales macronutrientes para CC; b) evaluar la sensibilidad de la metodología DRIS para detectar posibles respuestas a la fertilización nitrogenada, y c) determinar si el manejo de la fertilización nitrogenada mejora el balance de nutrientes en la planta. Se utilizaron plantas de CC provenientes de 8 ensayos de fertilización realizados en los años 1999 y 2000 y muestreadas durante los estadios de macollaje y espigazón. En macollaje, las parcelas testigo y las fertilizadas mostraron al N como el nutriente más deficiente, y al S en los casos de mayor aporte de N (cuando se fertilizó con 30 o 60 kg N ha⁻¹). En este estadio se observó un leve desbalance nutricional, reflejado por el «Índice de Balance Nutricional» (IBN) y la relación N:S. En espigazón la CC mostró deficiencias importantes de N, seguidas en muchos casos por el S, las cuales afectaron directamente el rendimiento. El P y el K mostraron índices adecuados no evidenciándose deficiencias en los suelos. En 1999, los rendimientos fueron bajos y con respuesta a la fertilización, excepto en un sitio donde hubo alta disponibilidad de nitratos y rendimientos elevados. En 2000, la mayor disponibilidad hídrica produjo mayores rendimientos con marcadas deficiencias de N debidas a la escasez de N disponible a la siembra. El S alternó con el N en el orden de requerimientos y el IBN mostró valores decrecientes al incrementarse el aporte de N. La correlación de este índice con los rendimientos de las parcelas testigo y fertilizadas fue de 87 y 68%, respectivamente, para el promedio de los dos años estudiados. El método DRIS fue un buen indicador del balance nutricional de la planta y de la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Palabras clave. *Hordeum vulgare*, urea, diagnóstico nutricional.

NITROGEN FERTILIZATION AND NUTRIENTS BALANCE IN MALTING BARLEY

ABSTRACT

The wider use of malting barley with high yield potential will necessarily increase soil nutrient requirements, the resulting nutritional deficiency placing constraints on production. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) approach uses leaf nutrient relationships to rank the importance of different nutrients in limiting crop yield. The objectives of the present study were to: a) evaluate the sensitivity of the DRIS methodology in detecting responses to nitrogen (N) fertilizer; b) establish the ranking of the main macronutrient requirements; and c) determine whether N application improves the nutrient balance in plants. Malting barley plants were taken from fertilizer experiments carried out in 1999 and 2000 and sampled at the tillering and heading stages. At tillering, N was found to be the most deficient nutrient in the control and fertilized plots and S in cases where N was more abundant (fertilized with 30 or 60 kg N ha⁻¹). The Nutritional Balance Index (IBN) and N:S ratio show a slight nutritional imbalance at this stage. At the heading stage the plants showed significant N deficiency, followed in many cases by S deficiency, directly affecting yield parameters. No P and K deficiencies were registered in the soils. In 1999, yields were low and showed fertilization response except in Alberti, where nitrate availability and yields were high. In 2000, higher water availability gave rise to higher yields with marked deficiencies in N owing to the shortage of N available at sowing. S alternated with N in the order of requirements and IBN values decreased with increasing N availability. There was an 87% and 68% correlation between this index and the yields of the control and fertilized plots, respectively. The DRIS approach proved a good indicator of nutritional balance and of plant response to N fertilization.

Key words. *Hordeum vulgare*, urea, nutritional diagnosis.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la Región Pampeana se ha caracterizado por la tendencia a prolongar los ciclos agrícolas respecto a los ganaderos (agriculturización) y por la incorporación de nuevas superficies con baja aptitud para la actividad agrícola. Los incrementos de los rendimientos con índices de extracción de nutrientes crecientes, explica el empobrecimiento de suelos con una mayor dependencia de los fertilizantes (Forjan, 2004). Si bien la difusión creciente de la fertilización ha atenuado, en parte, los procesos de degradación, ésta no se realiza con el criterio de fertilización integral y balance de nutrientes.

Las plantas requieren cantidades equilibradas de nutrientes que deben ser satisfechas con una fertilización balanceada. Son indispensables herramientas adecuadas para evaluar la disponibilidad en el suelo y el estado nutricional de la planta, que permitan interpretar y calibrar la necesidad del cultivo. Errores en la detección de deficiencias resultan en rendimientos menores al potencial o en la aplicación innecesaria y/o excesiva de fertilizantes, causando un perjuicio económico y ambiental. En la Región Pampeana, las áreas con los balances más negativos de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) coinciden con las áreas de mayor difusión del cultivo de soja (García, 2006).

En la provincia de Buenos Aires, luego de tres años de ensayos de fertilización nitrogenada con cebada cervecera (CC), variedad Quilmes Palomar, se vio que la aplicación de N incrementa generalmente los rendimientos pero que esta respuesta está asociada a la disponibilidad de agua y a la dinámica del N edáfico en los diferentes suelos (Lázzari *et al.*, 2007). Se determinó también que a la cosecha queda en el suelo una cantidad apreciable de N residual (Lázzari *et al.*, 2001).

En la actualidad, la difusión de variedades con alto potencial de rendimiento (Scarlett, Quilmes Ayelén o B1215) aumenta los requerimientos y el déficit nutricional representa un factor cada vez más limitante de la producción. En la Argentina, no se dispone de métodos de diagnóstico ajustados para la fertilización de CC, por lo que habitualmente se usan los métodos empleados para trigo (Prystupa, 2006).

El análisis de planta es ampliamente conocido como una herramienta de diagnóstico para indicar la disponibilidad de elementos naturales. Originalmente tuvo mayor aplicación en cultivos considerados hortícolas que en los de cosecha como maíz, soja o trigo (Landriscini, 1992). Se sabe que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo e indica lo que absorbió de toda la oferta nutricional. A partir del análisis vegetal se determina si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo y cuánto requiere, si fuese

necesaria la fertilización (Krantz *et al.*, 1948; Alva & Bille, 1981). Si el nivel de nutrientes de una hoja está en el rango de deficiencia, no necesariamente se observará respuesta a la aplicación de ese nutriente, si los niveles de otros elementos (o factores de producción) y su balance no son óptimos (Melsted *et al.*, 1969; Malavolta *et al.*, 1997).

El Método DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) utiliza relaciones entre nutrientes en lugar de valores críticos para hacer el diagnóstico. En este caso, las relaciones no expresan la concentración de nutrientes en función de la materia seca, volviéndose menos dependiente de los cambios relativos con la edad. Las Normas DRIS se obtienen a partir de lotes de producción y los Índices DRIS son calculados a partir del desvío del valor normal para cada nutriente (Beaufils, 1973; Sumner, 1986 y Walworth & Sumner, 1987). En esta investigación se utilizaron las Normas DRIS Internacionales obtenidas para trigo a partir de resultados de investigaciones publicadas y no publicadas llevadas a cabo en Kansas, Dakota del Sur y Canadá, durante numerosos años. Estos datos se lograron de numerosos investigadores quienes obtuvieron la composición foliar del trigo y su correspondiente valor de rendimiento en grano (Sumner, 1977). El diagnóstico nutricional indica el orden en que los nutrientes están limitando el rendimiento, ya sea por déficit o por exceso de alguno de ellos. Al minimizarse el efecto de la variación en edad del tejido, es posible hacer el mismo diagnóstico en los estadios tempranos del cultivo, siendo una clara ventaja respecto a otros métodos (Landriscini *et al.*, 2001). Los primeros estudios internacionales aplicando las normas DRIS con N, P, K y S en trigo presentaron resultados alentadores (Sumner, 1981).

Considerando que este método usa el concepto de balance nutricional, se plantea la hipótesis de que el DRIS podría detectar en forma eficaz deficiencias nutricionales y/o excesos en plantas de cebada cervecera.

En este estudio realizado durante dos años, en diferentes sitios de la provincia de Buenos Aires, los objetivos fueron: a) establecer el orden de requerimientos nutricionales de los principales macronutrientes para CC; b) evaluar la sensibilidad de la metodología DRIS para detectar posibles respuestas a la fertilización nitrogenada, y c) determinar si el manejo de la fertilización nitrogenada mejora el balance de nutrientes en la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante las campañas 1999 y 2000 en ocho localidades de la provincia de Buenos Aires. Los sitios experimentales fueron: San Mayol, SM; Coronel Suárez, CS; Bordenave, B1 y Alberti, A1 (1999) y Cascallares, C; Puán, Pu; Bordenave, B2 y Alberti, A2 (2000) (Lázzari *et al.*, 2005, 2007). La ubicación de estos sitios se observa en la Figura 1.

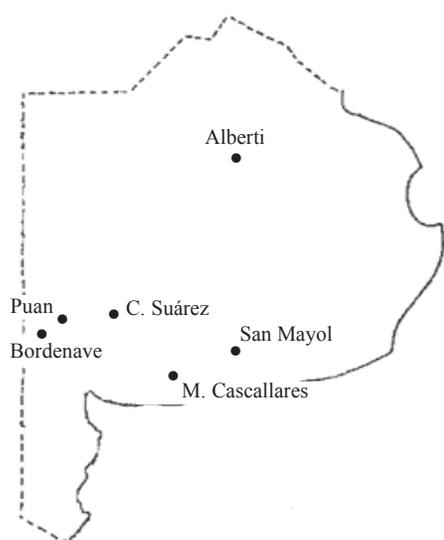


Figura 1. Ubicación de los sitios experimentales en la provincia de Buenos Aires.

Figure 1. Experimental sites in Buenos Aires Province.

Los suelos se clasificaron (Soil Survey Staff, 1999) como: Paleudol Petrocálcico (SM), Argiudol Típico (P), Haplustol Éntico (B1 y B2) y Hapludol Típico (CS, A1, A2 y C). En la Tabla 1 se resumen las principales características edáficas de los suelos utilizados para el desarrollo del trabajo.

Se aplicaron tres dosis de nitrógeno como urea en dos momentos de fertilización, emergencia (Z11, Zadoks *et al.*, 1974; *ca.* 22

días desde la siembra, dds) y macollaje temprano (Z22, *ca.* 59 dds) y una dosis fraccionada a la emergencia y al macollaje. Las dosis y momentos de fertilización fueron: 0 (0N), 30 (30e) y 60 (60e) aplicados a la emergencia, 30 (30m) y 60 (60m) al macollaje temprano y 60 (30+30) kg N ha⁻¹ aplicados en forma fraccionada a la emergencia y al macollaje. El diseño experimental fue el mismo en todas las localidades y consistió en seis tratamientos (3 dosis de N y 2 momentos de fertilización y una dosis fraccionada) en cuatro bloques completamente aleatorizados. La superficie de cada unidad experimental fue de 20 m². Se extrajeron muestras de suelo (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para su identificación y análisis. Se realizó una fertilización base con fósforo (P) junto a la semilla (20 kg P ha⁻¹, superfosfato triple).

La biomasa aérea se muestreó en diferentes momentos del ciclo de crecimiento: macollaje temprano (Z22); espigazón (Z51, *ca.* 106 dds); llenado del grano (Z77, *ca.* 123 dds) y madurez fisiológica (Z91, *ca.* 147 dds), para estimar la materia seca producida y evaluar la dinámica del N, P, potasio (K) y azufre (S) foliares durante el crecimiento de la CC. El material se obtuvo manualmente de cuatro submuestras de 0,5 m lineales de los surcos centrales de la parcela. A la cosecha, de un área de 1 x 4 m, nuevamente se extrajeron plantas (cuatro submuestras de 0,5 m lineales) para evaluar rendimiento de materia seca total y de granos (Lázzari *et al.*, 2005, 2007).

El material vegetal se analizó por los métodos de rutina: N total por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996), y el P, K y S totales se extrajeron con una digestión húmeda de ácido nítrico y perclórico, con una relación 2:1 (Johnson & Ulrich, 1959). Luego el P y el S se determinaron por espectrometría de emisión por plasma (ICP) y el K por fotometría de llama. A partir de las concentraciones foliares de N, P, K y S, se aplicó la metodología DRIS (Walworth & Sumner, 1987) utilizando las Normas DRIS Inter-

Tabla 1. Principales características del suelo a la siembra de ocho sitios de experimentación de dos años, en la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Table 1. Main soil characteristics at seeding at eight experimental sites over two years in Buenos Aires Province, Argentina.

	Año 1999					Año 2000			
	Prof. (cm)	Sitio				Sitio			
		SM	CS	B1	A1	C	Pu	B2	A2
MO† (g kg ⁻¹)	0-20	44	42	24	27	26	40	14	30
N (g kg ⁻¹)	0-20	2,25	1,85	1,40	1,61	1,30	2,10	0,74	1,59
N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	0-60	76	92	48	122	105	59	4	15
N-NH ₄ ⁺ (kg ha ⁻¹)	0-60	70	37	55	47	67	37	0	0
P ‡ (mg kg ⁻¹)	0-20	9,9	13,3	15,0	3,0	14,4	11,0	16,1	15,7
pH §	0-20	5,2	6,0	6,8	5,3	6,3	6,4	6,6	5,9
Arcilla¶ (g kg ⁻¹)	0-20	225	175	156	175	150	250	100	200
Limo¶ (g kg ⁻¹)	0-20	125	150	88	38	75	150	25	50
Arena¶ (g kg ⁻¹)	0-20	650	675	756	788	775	600	875	750

† Materia Orgánica: Walkley & Black ‡ P extractable: Bray 1 modificado (Lázzari *et al.*, 2007).

§ Relación suelo:agua 1:2,5.

¶ Análisis del tamaño de partículas: Gee & Bauder (Lázzari *et al.*, 2007).

nacionales, para determinar los Índices DRIS de cada nutriente y el orden de requerimientos nutricionales (ORN) relativos, es decir, como están ordenados en cuanto a las deficiencias o excesos relativos en los diferentes momentos del ciclo de crecimiento. La técnica confronta las relaciones de concentración de las muestras obtenidas con las correspondientes a poblaciones de rendimiento máximo u óptimo, a las que denomina Normas DRIS para esos nutrientes y cultivos. A partir de ellas, se ordenan las relaciones de nutrientes en expresiones llamadas Índices DRIS. Matemáticamente, los índices se basan en la desviación media de cada relación respecto a su valor óptimo. Por ello, el Índice DRIS óptimo debería ser cero para cualquier nutriente. Los índices negativos indican deficiencias relativas mientras que los positivos excesos respecto a los nutrientes considerados en el diagnóstico (Sumner, 1975). El Índice de Balance Nutricional (IBN) se calculó para cada muestra de planta muestreada, sumando el valor absoluto de todos los índices nutricionales involucrados en el análisis. El IBN es una medida del balance nutricional total en una planta y a partir de este dato es posible establecer una relación entre el balance nutricional y el rendimiento del cultivo o algún parámetro relacionado (Sumner, 2001).

Para evaluar el efecto global de la fertilización en cada sitio se hizo un ANVA (Análisis de la Varianza), incluyendo todos los tratamientos. Sólo en los casos que el análisis mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, las comparaciones fueron analizadas por el Test de diferencia mínima significativa (DMS) usando el Programa Estadístico Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración nutricional y diagnóstico DRIS

Las condiciones meteorológicas durante este estudio oscilaron desde poco a muy favorables para el crecimiento de la CC. Algunas condiciones adversas incluyeron heladas en época de llenado del grano (B1), escasez de precipitaciones en todo el ciclo (CS y A1) o parte del mismo (Pu), hasta excesos de humedad en A2.

Los años 1999 y 2000, tuvieron condiciones meteorológicas diferentes, pero ambas representativas de la Región semiárida pampeana: precipitaciones irregulares y períodos de sequía importantes. Estas condiciones se reflejaron en los rendimientos variables de la CC y la poca respuesta a la fertilización con N. En la Figura 2 se graficaron los rendimientos de las parcelas testigo y las fertilizadas (rendimientos promedio entre dosis y momentos de fertilización) para los dos años de estudio (Lázzari *et al.*, 2007).

Para analizar el primer objetivo se utilizaron los datos de las concentraciones foliares en cada uno de los sitios estudiados, debido a la interacción significativa observada entre los tratamientos y los sitios de ensayo.

La concentración de N en la planta tendió a disminuir a lo largo del ciclo del cultivo (Tablas 3 a 10). Este efecto

Tabla 2. Lluvia acumulada entre períodos de crecimiento y uso consuntivo del agua (UC) en cebada cervecera, en ocho sitios y dos años de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Table 2. Accumulated rainfall during barley growth stages and water use (UC) at eight sites over two years in Buenos Aires Province, Argentina.

Año 1999	Precipitación (mm)			
	Sitio			
	SM	CS	B1	A1
Siembra-macollaje	170	76	44	35
Macollaje-espigazón	8	41	55	97
Espigazón-grano lechoso	44	48	109	30
Grano lechoso-mad. fisiol.	91	48	134	14
Total	313	213	342	176
UC (mm)	376	391	366	242
Año 2000	C	Pu	B2	A2
Siembra-macollaje	124	139	97	17
Macollaje-espigazón	119	140	125	137
Espigazón-grano lechoso	70	37	42	212
Grano lechoso-mad. fisiol.	-	9	-	58
Total	313	325	264	424
UC (mm)	411	393	311	441

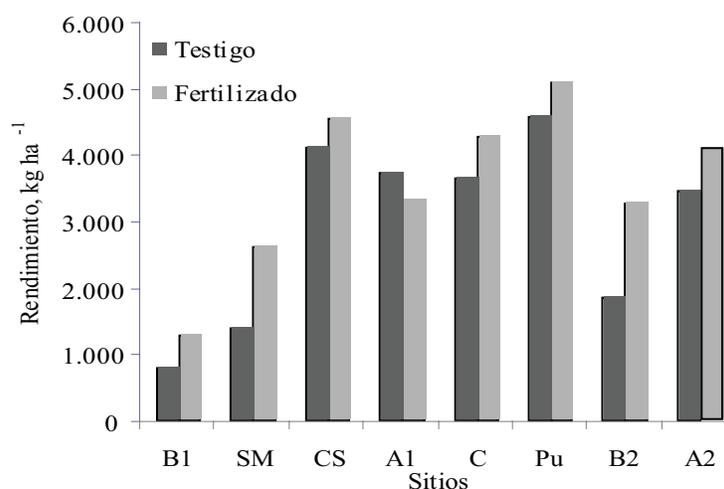


Figura 2. Rendimiento de la cebada cervecera en las parcelas testigo y en las fertilizadas (promedio de las dosis y momentos de fertilización) en los ocho sitios de estudio en 1999 y 2000.

Figure 2. Grain yield in control and fertilized plots (average between different rates and timing) in malting barley at eight sites over 1999 and 2000.

Tabla 3. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento. San Mayol.

Table 3. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth cycle. San Mayol.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	2,58	0,30	3,08	0,20	-23	9	22	-8	N > S > P > K	62
30 Ne	3,39	0,32	3,46	0,20	-8	4	23	-19	S > N > P > K	54
30 Nm	2,87	0,29	3,00	0,21	-14	4	18	-7	N > S > P > K	43
60 Ne	3,82	0,32	3,79	0,20	-3	0	26	-22	S > N > P > K	52
60 Nm	2,80	0,28	2,75	0,21	-13	5	13	-6	N > S > P > K	37
30 Ne+30 Nm	3,12	0,31	3,41	0,20	-13	5	24	-16	S > N > P > K	58
DMS	0,44	0,05	0,58	0,03						
Espigazón										
0 N	1,51	0,30	1,77	0,24	-60	35	-3	28	N > K > S > P	125
30 Ne	1,44	0,25	1,97	0,18	-50	24	15	12	N > S > K > P	101
30 Nm	1,37	0,27	1,91	0,20	-60	32	11	17	N > K > S > P	120
60 Ne	1,67	0,24	1,98	0,18	-35	16	12	8	N > S > K > P	71
60 Nm	1,63	0,29	1,95	0,21	-47	27	5	15	N > K > S > P	94
30 Ne+30 Nm	1,38	0,25	1,75	0,18	-50	29	8	14	N > K > S > P	100
DMS	0,17	0,04	0,27	0,02						
Grano Lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,73	0,20	1,47	0,14	-100	45	28	27	N > S > K > P	200
30 Ne	0,79	0,14	1,60	0,10	-67	18	45	4	N > S > P > K	135
30 Nm	0,72	0,15	1,58	0,12	-86	21	45	20	N > S > P > K	173
60 Ne	0,71	0,11	1,77	0,08	-72	1	74	-4	N > S > P > K	150
60 Nm	0,83	0,17	1,69	0,11	-76	26	42	8	N > S > P > K	151
30 Ne+30 Nm	0,90	0,14	1,67	0,10	-55	12	43	0	N > S > P > K	110
DMS	0,16	0,05	0,25	0,02						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,55	0,42	0,94	0,07	-28	153	-56	-69	S > K > N > P	306
30 Ne	1,48	0,38	0,92	0,06	-23	147	-47	-77	S > K > N > P	294
30 Nm	1,49	0,39	0,89	0,07	-23	155	-54	-77	S > K > N > P	310
60 Ne	1,49	0,35	1,03	0,06	-19	131	-31	-81	S > K > N > P	262
60 Nm	1,67	0,41	0,95	0,07	-20	148	-56	-72	S > K > N > P	295
30 Ne+30 Nm	1,65	0,40	0,88	0,07	-15	158	-60	-84	S > K > N > P	317
DMS	0,17	0,05	0,15	0,006						

Tabla 4. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento. Cnel. Suárez.

Table 4. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages. Cnel. Suárez.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	5,69	0,39	4,45	0,33	-14	10	13	-8	N > S > P > K	45
30 Ne	5,93	0,47	4,10	0,30	5	6	4	-15	S > K > N > P	31
30 Nm	5,83	0,39	6,18	0,33	-21	-1	36	-15	N > S > P > K	72
60 Ne	5,85	0,39	6,19	0,34	-21	-1	35	-13	N > S > P > K	70
60 Nm	5,67	0,39	5,75	0,33	-20	3	31	-14	N > S > P > K	67
30 Ne+30 Nm	5,8	0,39	6,31	0,31	-20	0	39	-19	N > S > P > K	79
DMS	0,14	0,06	1,58	0,03						
Espigazón										
0 N	1,57	0,19	2,57	0,19	-44	-4	39	10	N > P > S > K	97
30 Ne	1,46	0,20	2,49	0,17	-48	4	39	5	N > P > S > K	96
30 Nm	1,55	0,19	2,26	0,17	-38	1	30	7	N > P > S > K	76
60 Ne	1,91	0,18	2,65	0,19	-28	-13	35	6	N > P > S > K	83
60 Nm	1,79	0,19	2,53	0,17	-30	-4	34	0	N > P > S > K	67
30 Ne+30 Nm	1,68	0,19	2,17	0,16	-28	2	26	0	N > S > P > K	56
DMS	0,32	0,03	0,52	0,03						
Grano Lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,65	0,09	1,26	0,12	-74	-4	41	37	N > P > S > K	155
30 Ne	0,69	0,10	1,35	0,12	-69	-6	45	31	N > P > S > K	152
30 Nm	0,78	0,10	1,36	0,12	-59	-5	37	27	N > P > S > K	128
60 Ne	1,03	0,11	1,66	0,14	-45	-18	39	23	N > P > S > K	125
60 Nm	0,87	0,11	1,58	0,13	-59	-6	41	25	N > P > S > K	132
30 Ne+30 Nm	0,85	0,10	1,58	0,13						
DMS	0,22	0,02	0,26	0,02						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,71	0,37	0,76	0,15	-22	108	-86	0	K > N > S > P	216
30 Ne	1,70	0,36	0,72	0,14	-19	114	-89	-5	K > N > S > P	229
30 Nm	1,83	0,38	0,74	0,14	-15	115	-92	-8	K > N > S > P	231
60 Ne	1,93	0,34	0,76	0,15	-9	91	-81	-1	K > N > S > P	182
60 Nm	1,85	0,34	0,83	0,13	-12	91	-68	-11	K > N > S > P	182
30 Ne+30 Nm	1,85	0,33	0,78	0,12	-8	92	-72	-12	K > S > N > P	184
DMS	0,19	0,05	0,12	0,03						

se relaciona con el efecto dilución, mayor aumento de materia seca que la absorción de nutrientes. En las parcelas testigo al macollaje, los índices DRIS foliares reflejaron el aporte de N del suelo para las condiciones de este estudio. Por lo tanto, en 7 de los 8 sitios fue el nutriente en primer orden de deficiencia con valores ubicados, en casi todos los casos, aunque dentro del rango entre +15 a -15 sugerido como de suficiencia relativa (Kelling & Schulte, 1986).

Cuando se fertilizó con 30 o 60 kg N ha⁻¹ a la emergencia, la mayor disponibilidad de N afectó de diferente forma tanto el rendimiento como la concentración de N en el grano. La biomasa aérea mostró desbalances en la relación N:S, aumentando levemente los valores de los índices de N (menos negativos), y ocupando el S el pri-

mer lugar en el orden de deficiencia relativa. Esta tendencia se observó en forma notoria en los ensayos B1, A1, CS, SM y C (Tablas 3 a 7). Los IBN aumentaron ligeramente, reflejando leves desequilibrios nutricionales. En los tratamientos fertilizados al macollaje, los índices mostraron valores similares a las parcelas testigo, debido a que el muestreo foliar se realizó antes de la fertilización.

A pesar de que la absorción de N por la planta continúa hasta madurez, el estadio de espigazón es el momento cuando la CC presenta los mayores requerimientos nutricionales con consecuencias directas sobre los parámetros de rendimiento. Otegui *et al.* (2001), en Uruguay, encontraron que posterior a Z30 (encañazón) la CC incrementó la tasa de crecimiento acompañado de un aumento en la tasa de absorción de N, pero a partir de

Tabla 5. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento. Bordenave 1.

Table 5. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages. Bordenave 1.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	5,50	0,45	6,68	0,39	-14	-12	35	-9	N>P>S>K	70
30 Ne	6,08	0,51	7,35	0,38	-12	-10	37	-15	S>N>P>K	74
30 Nm	5,61	0,51	6,70	0,40	-16	-5	31	-10	N>S>P>K	61
60 Ne	6,26	0,53	7,17	0,39	-10	-7	33	-16	S>N>P>K	66
60 Nm	5,86	0,46	6,30	0,39	-9	-10	28	-9	P>S>N>K	56
30 Ne+30 Nm	6,17	0,51	7,25	0,40	-12	-10	34	-13	S>N>P>K	68
DMS	0,32	0,06	0,85	0,03						
Espigazón										
0 N	1,16	0,20	1,58	0,16	-54	22	13	18	N > K > S > P	108
30 Ne	1,25	0,19	1,68	0,19	-52	14	14	25	N > K > P > S	105
30 Nm	1,30	0,20	1,91	0,18	-51	12	21	18	N > P > S > K	102
60 Ne	1,59	0,20	2,12	0,18	-36	6	22	8	N > P > S > K	72
60 Nm	1,56	0,21	2,12	0,19	-41	8	20	13	N > P > S > K	83
30 Ne+30 Nm	1,62	0,22	2,19	0,18	-38	10	21	7	N > S > P > K	76
DMS	0,20	0,04	0,29	0,03						
Grano Lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,58	0,14	1,15	0,10	-87	35	32	20	N > S > K > P	173
30 Ne	0,58	0,10	1,24	0,12	-92	6	43	43	N > P > K > S	184
30 Nm	0,57	0,11	1,25	0,09	-84	18	46	20	N > P > S > K	167
60 Ne	0,59	0,09	1,45	0,10	-83	-3	63	23	N > P > S > K	172
60 Nm	0,66	0,11	1,46	0,10	-75	8	54	13	N > P > S > K	150
30 Ne+30 Nm	0,75	0,10	1,55	0,11	-65	-5	52	18	N > P > S > K	141
DMS	0,18	0,03	0,14	0,04						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,67	0,51	0,88	0,17	-48	151	-99	-4	K > N > S > P	303
30 Ne	1,62	0,51	0,82	0,16	-47	160	-105	-8	K > N > S > P	321
30 Nm	1,63	0,49	0,80	0,20	-50	145	-112	17	K > N > S > P	324
60 Ne	1,70	0,50	0,90	0,16	-44	143	-93	-7	K > N > S > P	287
60 Nm	1,75	0,49	0,90	0,16	-39	138	-90	-9	K > N > S > P	276
30 Ne+30 Nm	1,81	0,51	0,89	0,16	-37	146	-96	-13	K > N > S > P	292
DMS	0,19	0,04	0,11	0,03						

Z39 (hoja bandera extendida), si bien continuó la acumulación de materia seca, ya no aumentó más la cantidad de N absorbido. Nuevamente los Índices DRIS ubicaron al N como el nutriente limitante de la nutrición, seguido por el S (50% de los casos) o por el P (3 sitios sobre los 8 estudiados). En este caso, factores externos tales como agua del suelo o temperatura ambiente, podrían haber originado estas deficiencias relativas. En todos los casos, el P y el K mostraron índices adecuados no evidenciándose deficiencias por parte de los suelos que realizarían el principal aporte de estos nutrientes. Los IBN tuvieron valores elevados, con los más bajos en las parcelas fertilizadas respecto a la testigo. Este estudio concuerda con trabajos anteriores realizados en trigo, donde se encontró un adecuado balance de nutrientes en las primeras etapas del

cultivo, mientras que los desbalances comenzaron a ser detectados luego de encañazón (Landriscini *et al.*, 2001).

El diagnóstico DRIS reflejó adecuadamente los cambios producidos en la nutrición del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento.

El muestreo realizado en grano lechoso, se utilizó para analizar la movilidad de los nutrientes involucrados en el diagnóstico en las distintas partes de la planta. El N fue más deficiente en el tallo y en las hojas, mientras que el K lo fue en el grano (espigas) (a excepción de SM) (Tabla 3), datos que concuerdan con estudios realizados sobre el balance de nutrientes en trigo (Galantini *et al.*, 2000). La mayor asimilación de este nutriente se produce antes de floración y su traslocación decrece durante el estado vegetativo y declina en el reproductivo (Erdei *et al.*, 1983).

Tabla 6. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento, Alberti 1.

Table 6. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages, Alberti 1.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	5,80	0,36	4,60	0,28	-10	8	20	-17	S > N > P > K	55
30 Ne	5,90	0,41	5,10	0,30	-14	10	21	-17	S > N > P > K	61
30 Nm	5,85	0,39	5,03	0,31	-14	7	22	-14	N > S > P > K	57
60 Ne	6,23	0,42	5,34	0,32	-13	9	21	-16	S > N > P > K	60
60 Nm	5,94	0,38	4,62	0,30	-11	9	16	-14	S > N > P > K	51
30 Ne+30 Nm	5,82	0,38	5,16	0,29	-14	7	25	-18	S > N > P > K	63
DMS	0,47	0,08	0,85	0,05						
Espigazón										
0 N	1,48	0,20	2,32	0,14	-39	9	36	-7	N > S > P > K	91
30 Ne	1,62	0,19	2,41	0,13	-31	4	38	-11	N > S > P > K	84
30 Nm	1,63	0,20	2,46	0,12	-29	6	42	-18	N > S > P > K	95
60 Ne	1,90	0,22	2,74	0,13	-25	5	41	-21	N > S > P > K	92
60 Nm	1,86	0,20	2,29	0,13	-19	5	29	-15	N > S > P > K	68
30 Ne+30 Nm	1,89	0,23	2,61	0,12	-24	14	38	-27	S > N > P > K	102
DMS	0,24	0,04	0,64	0,03						
Grano Lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,74	0,07	1,97	0,12	-75	-60	101	35	N > P > S > K	271
30 Ne	0,95	0,10	2,42	0,28	-109	-64	77	96	N > P > K > S	346
30 Nm	0,95	0,07	2,16	0,10	-47	-53	99	2	P > N > S > K	200
60 Ne	1,15	0,09	2,47	0,19	-76	-54	84	46	N > P > S > K	260
60 Nm	1,24	0,11	2,66	0,10	-40	-35	92	-16	N > P > S > K	184
30 Ne+30 Nm	1,25	0,11	2,59	0,09	-36	-28	90	-25	N > P > S > K	180
DMS	0,38	0,05	0,46	0,19						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,83	0,32	0,96	0,12	-13	79	-47	-18	K > S > N > P	157
30 Ne	1,77	0,39	1,02	0,13	-26	98	-53	-20	K > N > S > P	197
30 Nm	1,89	0,38	1,07	0,13	-20	91	-48	-23	K > S > N > P	182
60 Ne	1,91	0,35	1,07	0,13	-16	79	-43	-20	K > S > N > P	158
60 Nm	2,01	0,36	1,11	0,14	-16	77	-45	-16	K > S > N > P	153
30 Ne+30 Nm	2,02	0,34	1,07	0,12	-10	77	-42	-25	K > S > N > P	154
DMS	0,30	0,06	0,14	0,04						

El P mostró valores muy elevados en el grano y adecuados en la paja, mientras que el S se vio con valores estables en ambas partes de la planta.

Es de destacar que sólo en Cascallares los valores de los Índices DRIS en la espiga durante grano lechoso se ubicaron todos en el rango de suficiencia nutricional con los menores valores de IBN de todos los ensayos, al final del ciclo de la CC (Tabla 7).

En algunos sitios (por ejemplo A1) la escasez de precipitaciones en la última etapa del ciclo del cultivo ocasionó una cesación del crecimiento y por ende altas dosis de N en condiciones adversas resultaron en un desbalance nutricional del grano (Tabla 6). Algunos de los posibles mecanismos de pérdida de N por el cultivo serían la caída de hojas y otros materiales vegetales, así

como la eliminación de N de la planta en forma gaseosa (Otegui *et al.*, 2001). Teniendo en cuenta lo observado por diferentes autores (Daigger *et al.*, 1976; Harper *et al.*, 1987), la absorción de N respecto a la producción de materia seca (más del 90% del N ya se absorbió en Z39), indicaría que si se asegura una correcta nutrición nitrogenada en los estadios previos a Z39, sería poco probable que se produzcan deficiencias en estadios posteriores.

Relación entre IBN y rendimiento

El IBN, observado en las Tablas 3 a la 10, es una medida del balance entre nutrientes en cada uno de los sitios. Altos valores de IBN indican mayor intensidad de desbalance entre los mismos en el momento de muestreo. En los dos muestreos foliares realizados se observaron

Tabla 7. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento, Cascallares.

Table 7. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages, Cascallares.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	4,09	0,52	3,39	0,29	-14	25	-2	-9	N > S > K > P	49
30 Ne	4,35	0,50	3,43	0,29	-9	20	-1	-10	S > N > K > P	41
30 Nm	4,23	0,48	3,43	0,27	-9	19	1	-12	S > N > K > P	42
60 Ne	4,84	0,53	3,69	0,29	-5	20	0	-15	S > N > K > P	40
60 Nm	3,94	0,55	1,89	0,30	-7	52	-47	2	K > N > S > P	107
30 Ne+30 Nm	4,38	0,55	2,73	0,26	1	53	-42	-12	K > S > N > P	109
DMS	0,41	0,14	1,04	0,04						
Espigazón										
0 N	1,68	0,19	2,38	0,14	-35	4	36	-5	N > S > P > K	80
30 Ne	1,88	0,17	2,69	0,15	-23	-15	44	-6	N > P > S > K	88
30 Nm	1,67	0,18	3,12	0,14	-38	-13	63	-11	N > P > S > K	127
60 Ne	1,91	0,18	3,56	0,14	-33	-21	73	-18	N > P > S > K	145
60 Nm	1,76	0,16	3,21	0,14	-33	-20	69	-16	N > P > S > K	138
30 Ne+30 Nm	2,00	0,18	3,55	0,15	-30	-23	70	-17	N > P > S > K	140
DMS	0,30	0,03	0,52	0,02						
Grano Lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,67	0,07	1,38	0,11	-65	-26	58	34	N > P > S > K	183
30 Ne	0,65	0,05	1,06	0,13	-58	-56	45	69	N > P > K > S	229
30 Nm	0,68	0,07	1,12	0,09	-45	-23	44	24	N > P > S > K	137
60 Ne	0,72	0,06	1,58	0,07	-48	-38	87	-2	N > P > S > K	174
60 Nm	0,87	0,06	1,70	0,08	-52	-34	87	-1	N > P > S > K	174
30 Ne+30 Nm	0,80	0,09	1,58	0,09	-47	-17	63	1	N > P > S > K	129
DMS	0,17	0,03	0,49	0,05						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,56	0,07	1,20	0,06	-5	-5	34	-24	S > N > P > K	67
30 Ne	1,52	0,08	1,23	0,08	-13	-5	27	-10	N > S > P > K	54
30 Nm	1,47	0,10	1,64	0,08	-21	0	40	-19	N > S > P > K	81
60 Ne	1,54	0,10	1,59	0,08	-18	-2	39	-19	S > N > P > K	78
60 Nm	1,69	0,09	1,82	0,08	-17	-12	51	-23	S > N > P > K	103
30 Ne+30 Nm	1,63	0,12	1,55	0,10	-19	9	23	-13	N > S > P > K	63
DMS	0,21	0,05	0,43	0,03						

cambios debidos a la fertilización con valores decrecientes al incrementarse el aporte de N, los que mostrarían un mejor balance nutricional.

El muestreo de macollaje sería el más adecuado como indicativo del balance nutricional de la CC, y podría ser usado como indicativo de los rendimientos posteriores. Este momento del ciclo de la CC sería el adecuado para aplicar correcciones nutricionales a partir del diagnóstico DRIS temprano. En la Figura 3 se observa la variabilidad existente en los valores de IBN obtenidos al macollaje, ya sea en las parcelas testigo como en las fertilizadas a la siembra, para todos los sitios de estudio. Las barras correspondientes a las fertilizadas representan el promedio de las dosis de 30 y 60 kg N ha⁻¹. Los sitios correspondientes al año 1999 mostraron mayores valores de

IBN, acordes a las condiciones climáticas del año y con escasa respuesta a la fertilización (Tablas 3 a 6). En los sitios del año 2000 se observaron menores valores de IBN tanto para las parcelas testigo como para las fertilizadas (Tablas 7 a 10). En este año la fertilización mostró respuestas aleatorias reflejadas en los valores de balance nutricional.

El IBN como medida del balance nutricional total en la planta, puede ser indicado por la suma de los índices de los nutrientes independientes de su signo matemático. En una muestra de planta con óptimo balance nutricional, todos los índices nutricionales en suma deberían dar un valor de cero. El rendimiento generalmente decrece con el incremento de la suma de índices (Walworth & Sumner, 1987). De cualquier modo, se hace difícil la predicción

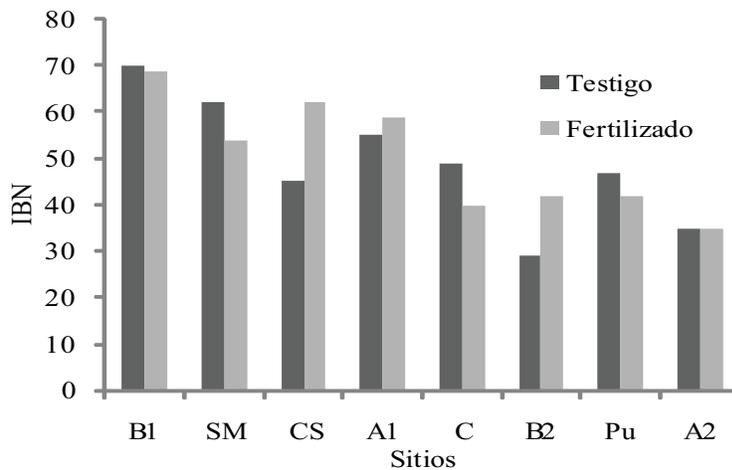


Figura 3. Índice de Balance Nutricional al macollaje en parcelas testigo y fertilizadas a la emergencia (promedio entre 30 y 60 kg N ha⁻¹) de cebada cervicera.

Figure 3. Nutritional Balance Index at tillering in control and fertilized plots at plant emergence (average between 30 and 60 kg N ha⁻¹) in malting barley.

Tabla 8. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervicera a lo largo del ciclo de crecimiento, Puán.

Table 8. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages, Puán.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	5,37	0,63	4,25	0,52	-17	14	-6	9	N > K > S > P	47
30 Ne	5,81	0,72	4,21	0,44	-12	25	-10	-4	N > K > S > P	50
30 Nm	5,52	0,62	3,85	0,43	-9	18	-10	1	K > N > S > P	38
60 Ne	6,16	0,66	4,03	0,39	-3	22	-9	-9	K > S > N > P	43
60 Nm	5,03	0,64	4,45	0,46	-20	18	-1	3	N > K > S > P	42
30 Ne+30 Nm	6,06	0,65	4,35	0,40	-6	19	-5	-8	S > N > K > P	37
DMS	0,32	0,09	0,79	0,07						
Espigazón										
0 N	1,24	0,21	2,13	0,15	-56	17	33	6	N > S > P > K	112
30 Ne	1,33	0,19	2,17	0,13	-43	9	37	-3	N > S > P > K	92
30 Nm	1,45	0,22	2,48	0,15	-48	12	39	-2	N > S > P > K	101
60 Ne	1,54	0,22	2,51	0,14	-42	11	39	-8	N > S > P > K	100
60 Nm	1,71	0,20	2,24	0,16	-29	3	25	1	N > S > P > K	58
30 Ne+30 Nm	1,78	0,22	2,64	0,16	-34	4	34	-4	N > S > P > K	76
DMS	0,23	0,04	0,55	0,02						
Grano lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,61	0,12	1,10	0,09	-72	28	30	14	N > S > P > K	145
30 Ne	0,54	0,11	1,16	0,08	-79	22	45	12	N > S > P > K	158
30 Nm	0,75	0,13	1,23	0,08	-49	23	32	-7	N > S > P > K	112
60 Ne	0,81	0,12	1,50	0,08	-49	7	48	-6	N > S > P > K	109
60 Nm	0,74	0,13	1,35	0,10	-73	19	41	13	N > S > P > K	145
30 Ne+30 Nm	0,86	0,12	1,59	0,09	-50	7	47	-4	N > S > P > K	108
DMS	0,16	0,04	0,42	0,02						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,63	0,42	0,78	0,17	-36	125	-95	6	K > N > S > P	262
30 Ne	1,49	0,38	0,75	0,14	-35	125	-86	-3	K > N > S > P	250
30 Nm	1,41	0,39	0,76	0,14	-43	129	-86	0	K > N > S > P	258
60 Ne	1,64	0,39	0,76	0,14	-28	123	-90	-5	K > N > S > P	245
60 Nm	1,69	0,39	0,81	0,20	-35	105	-91	21	K > N > S > P	252
30 Ne+30 Nm	1,74	0,41	0,84	0,17	-30	112	-86	4	K > N > S > P	232
DMS	0,23	0,06	0,13	0,04						

Tabla 9. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento, Bordenave 2.

Table 9. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages, Bordenave 2.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	4,58	0,51	3,79	0,36	-12	14	0	-2	N > S > K > P	29
30 Ne	5,48	0,60	3,96	0,37	-7	19	-5	-7	N > S > K > P	37
30 Nm	4,52	0,56	3,89	0,37	-17	18	-1	-1	N > S > K > P	37
60 Ne	5,78	0,59	3,91	0,29	2	22	-2	-22	S > K > N > P	48
60 Nm	4,40	0,54	3,45	0,36	-15	21	-6	0	N > K > S > P	41
30 Ne+30 Nm	5,51	0,58	3,94	0,37	-6	16	-4	-6	N > S > K > P	32
DMS	0,53	0,09	0,67	0,06						
Espigazón										
0 N	1,24	0,20	1,77	0,15	-48	18	20	11	N > S > P > K	97
30 Ne	1,27	0,18	1,97	0,13	-42	10	33	-1	N > S > P > K	85
30 Nm	1,23	0,18	2,0	0,14	-46	9	34	3	N > S > P > K	93
60 Ne	1,36	0,15	2,08	0,11	-30	-1	42	-11	N > S > P > K	85
60 Nm	1,49	0,19	2,31	0,14	-37	6	37	-6	N > S > P > K	86
30 Ne+30 Nm	1,44	0,16	2,08	0,11	-27	-1	40	-13	N > S > P > K	80
DMS	0,20	0,04	0,29	0,02						
Grano lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,59	0,12	1,07	0,12	-86	23	26	36	N > P > K > S	172
30 Ne	0,54	0,09	1,04	0,07	-64	15	41	8	N > S > P > K	129
30 Nm	0,54	0,10	0,93	0,07	-64	27	30	8	N > S > P > K	129
60 Ne	0,53	0,07	0,98	0,05	-44	4	54	-14	N > S > P > K	115
60 Nm	0,60	0,10	0,97	0,06	-48	19	32	-3	N > S > P > K	102
30 Ne+30 Nm	0,60	0,08	1,10	0,07	-53	0	45	8	N > P > S > K	107
DMS	0,12	0,02	0,21	0,03						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,18	0,25	0,87	0,15	-44	63	-40	20	N > K > S > P	167
30 Ne	1,28	0,28	0,78	0,11	-30	89	-50	-9	K > N > S > P	177
30 Nm	1,33	0,32	0,79	0,12	-34	100	-59	-7	K > N > S > P	200
60 Ne	1,28	0,29	0,72	0,11	-30	99	-61	-9	K > N > S > P	199
60 Nm	1,41	0,31	0,80	0,12	-29	94	-56	-9	K > N > S > P	188
30 Ne+30 Nm	1,38	0,30	0,73	0,11	-25	103	-64	-14	K > N > S > P	205
DMS	0,12	0,04	0,09	0,04						

del rendimiento a partir de esta suma debido a la influencia de factores no medibles que pueden afectar el rendimiento y no están calculados con los índices DRIS. En nuestro caso, este índice estaría indicando que otros factores diferentes a la fertilización debieron influir para que el balance nutricional de la CC manifieste estos valores. En A2 el exceso de lluvia en algunos momentos del ciclo de la CC produjo mucha biomasa aérea que originó un importante desbalance nutricional que no se reflejó en el rendimiento por vuelco (Tabla 10). En C las aplicaciones de N produjeron desbalances nutricionales mostrando deficiencias de N foliares, respecto a los demás nutrientes involucrados en el diagnóstico, seguidas en orden de importancia por el P (Tabla 7). En este caso los valores de P extractable de los suelos (14 mg kg^{-1}) pudieron ser insuficientes para los rendimientos obtenidos.

Si el IBN puede ser una muestra del balance nutricional del cultivo, es posible construir una ecuación a partir de la cual este índice sea indicativo del rendimiento. Para ello se correlacionó el IBN de la CC en macollaje en los 2 años de estudio con los rendimientos de las parcelas testigo. Los datos mostraron un ajuste significativo ($r^2=0,87$) (Fig. 4). El punto que representa al sitio B2 mostró el menor valor de IBN pero con bajos rendimientos acordes al sitio. Estos resultados son coincidentes con la bibliografía que sugiere que con valores de IBN elevados, no se podrían esperar altos rendimientos, pero con IBN pequeños, se podrían predecir tanto altos o bajos rendimientos, según se disponga de mayor información adicional para completar las ecuaciones de predicción (Walworth & Sumner, 1987).

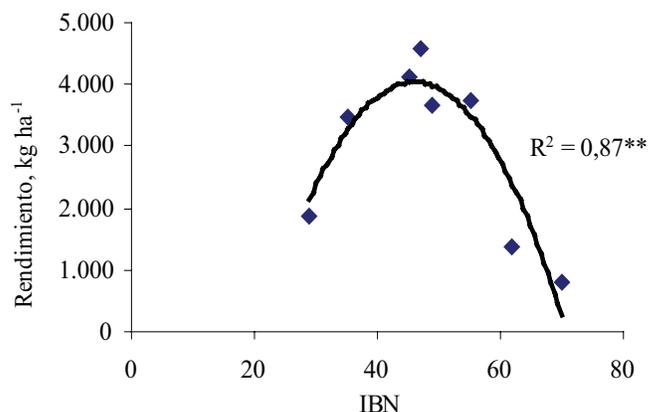


Figura 4. Correlación entre el Índice de Balance Nutricional (IBN) en macollaje y el rendimiento de cebada cervecera en tratamientos sin fertilizantes en ocho sitios de experimentación durante 1999 y 2000.

Figure 4. Correlation between Nutritional Balance Index at tillering and grain yield in malting barley control plots at eight sites over 1999 and 2000.

Tabla 10. Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en planta entera de cebada cervecera a lo largo del ciclo de crecimiento, Alberti 2.

Table 10. DRIS Index, Order of Nutritional Requirement and Nutritional Balance Index in whole barley plant during growth stages, Alberti 2.

	CONCENTRACIÓN (%)				ÍNDICES DRIS				ORN	IBN
	N	P	K	S	IN	IP	IK	IS		
Macollaje										
0 N	4,29	0,484	3,85	0,33	-14	12	5	-4	N > S > K > P	35
30 Ne	4,69	0,48	3,03	0,32	-4	18	-10	-4	K > S > N > P	36
30 Nm	4,37	0,47	2,86	0,34	-7	18	-12	2	K > N > S > P	38
60 Ne	5,21	0,45	2,64	0,29	9	17	-17	-9	K > S > N > P	52
60 Nm	4,25	0,41	3,04	0,27	-3	12	-2	-7	S > N > K > P	25
30 Ne+30 Nm	4,73	0,45	3,04	0,30	0	14	-7	-6	K > S > N > P	27
DMS	0,45	0,06	0,87	0,04						
Espigazón										
0 N	1,06	0,27	2,11	0,13	-78	49	38	-8	N > S > K > P	173
30 Ne	1,14	0,26	2,33	0,11	-71	45	47	-21	N > S > P > K	184
30 Nm	1,16	0,26	2,30	0,11	-68	44	45	-21	N > S > P > K	177
60 Ne	1,35	0,27	2,79	0,12	-61	34	55	-28	N > S > P > K	179
60 Nm	1,15	0,29	2,61	0,13	-82	47	52	-18	N > S > P > K	200
30 Ne+30 Nm	1,69	0,29	3,33	0,12	-51	30	59	-37	N > S > P > K	177
DMS	0,31	0,03	0,4	0,02						
Grano lechoso (tallo + hojas)										
0 N	0,70	0,10	0,97	0,07	-39	15	23	0	N > S > P > K	77
30 Ne	0,78	0,09	1,11	0,06	-28	6	35	-13	N > S > P > K	82
30 Nm	0,82	0,10	1,01	0,07	-24	8	23	-7	N > S > P > K	62
60 Ne	0,98	0,10	1,33	0,07	-22	0	39	-17	N > S > P > K	78
60 Nm	0,75	0,10	0,99	0,06	-30	11	26	-7	N > S > P > K	74
30 Ne+30 Nm	0,89	0,09	1,07	0,06	-17	3	29	-15	N > S > P > K	64
DMS	0,3	0,03	0,33	0,014						
Grano lechoso (espigas)										
0 N	1,50	0,32	0,83	0,13	-27	90	-59	-3	K > N > S > P	179
30 Ne	1,41	0,30	0,71	0,11	-23	100	-67	-11	K > N > S > P	201
30 Nm	1,51	0,33	0,91	0,13	-32	93	-53	-9	K > N > S > P	186
60 Ne	1,55	0,30	0,83	0,11	-19	84	-53	-13	K > N > S > P	168
60 Nm	1,47	0,31	0,85	0,11	-25	89	-51	-13	K > N > S > P	179
30 Ne+30 Nm	1,61	0,26	0,81	0,10	-8	70	-45	-17	K > S > N > P	141
DMS	0,13	0,11	0,14	0,04	-27	90	-59	-3		

Cuando se hizo la misma correlación con las parcelas fertilizadas al macollaje hubo mucha variabilidad que resultó en una muy pobre correlación entre estos dos parámetros.

Dara *et al.* (1992) probaron en maíz diferentes formas de expresar la relación entre el IBN y el rendimiento. En este caso los mejores ajustes se encontraron entre el Rendimiento Relativo y el IBN usando Normas DRIS elaboradas localmente. Como en este estudio se encontró que el Índice DRIS de N (IN) fue el que mejor reflejó las variaciones nutricionales del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento, se probó la relación entre la respuesta al rendimiento y el cociente entre el IN y el IBN. Este cociente indicaría cuanto del desbalance nutricional de la planta fue originado por la deficiencia de N. La respuesta en el rendimiento en grano de las parcelas fertilizadas, promedio de los tratamientos con 30 y 60 kg N ha⁻¹, en función de este cociente mostró un ajuste significativo ($p < 0,01$, $R^2 = 0,68$) sugiriendo que puede ser una buena alternativa para complementar la interpretación del método DRIS (Fig. 5).

Varios autores concluyeron, a partir de numerosos experimentos donde variaron tanto los nutrientes como las condiciones ambientales, que cuando la suma de los

índices DRIS es grande, uno o más factores medidos, tanto nutricionales como ambientales, están limitando los rendimientos. Consecuentemente altos rendimientos no deberían esperarse cuando la suma de estos índices es alta. Sin embargo, altos rendimientos podrían esperarse sólo cuando la suma de los índices es chica (cuando el N, P, K y S, están balanceados). En este caso la metodología DRIS de diagnóstico nutricional en CC podría usarse como una técnica de regresión modificada cuyo resultado es indicativo del máximo rendimiento posible.

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada en cebada cervecera, bajo las condiciones variables de estudio, debe manejarse teniendo en cuenta el balance de nutrientes. El método DRIS fue un buen indicador del balance nutricional y de la respuesta de la planta a la fertilización nitrogenada. Los índices DRIS son una herramienta sensible para diagnosticar el orden de las limitantes de la nutrición del cultivo, pero deben complementarse con el estudio de otros factores limitantes de la producción que deben ser tenidos en cuenta al predecir los rendimientos.

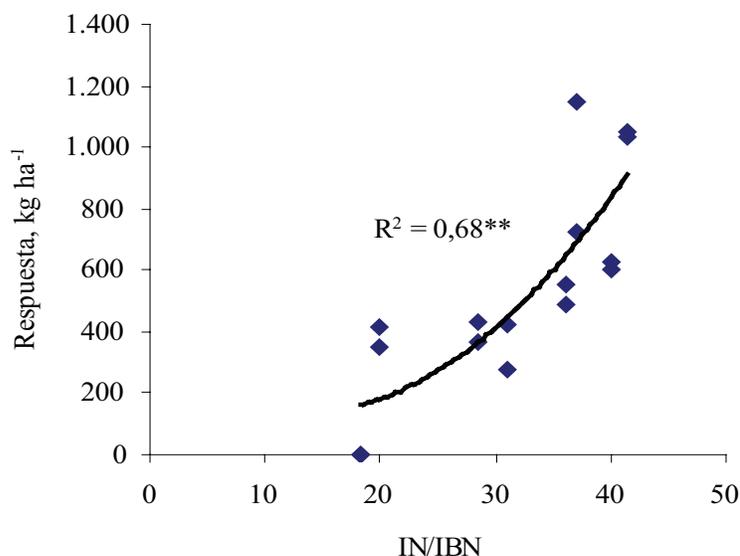


Figura 5. Correlación entre la respuesta al rendimiento y la relación Índice DRIS de N : IBN en cebada cervecera fertilizada al macollaje (promedio entre 30 y 60 kg N ha⁻¹) en ocho sitios de experimentación durante 1999 y 2000.

Figure 5. Correlation between yield response and N index : Nutrient Balance Index rate at tillering, in fertilized malting barley (average between 30 and 60 kg N ha⁻¹) at eight sites over 1999 and 2000.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva, AK & SW Bille. 1981. Diagnostic techniques for cereals based on plant analysis. I. Stage of plant development. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 1207-1225.
- Beaufils, ER 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Sci. Bull.* 1, 130 pp. Univ. of Natal, Pietermaritzburg, South Africa.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen total. Pp. 1085-1123. *In*: DL Sparks *et al.* (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3, Chemical Methods. SSSA:Series: 5. Madison WI., USA.
- Daigger, LA; DH Sander & GA Peterson. 1976. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation. *Agron. J.* 68: 815-818.
- Dara, ST; PE Fixen & RH Gelderman. 1992. Sufficiency level-land Diagnosis and Recommendation Integrated System approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agr. J.* 84: 1006-1010.
- Erdei, L; Z Oláh & A Bérczi. 1983. Nutrition of winter wheat during the life cycle. II. Influx and translocation of potassium and phosphorous. *Physiol. Plant.* 58: 131-135.
- Forján, HJ. 2004. Balance de nutrientes en secuencias agrícolas de la región sur bonaerense. INPOFOS. *Informaciones Agronómicas* 21: 8-11.
- Galantini, JA; MR Landriscini & RA Rosell. 2000. Patrones de acumulación, balance y partición de nutrientes en diferentes sistemas de producción con trigo. *RIA (INTA)*, 29(2): 99-112.
- García, FO. 2006. «¿Por qué es negocio hacer trigo?». Jornada de actualización en trigo Córdoba 2006. Córdoba, 30 de Marzo.
- Harper, LA; RR Sharpe; GW Langdale & GE Giddens. 1987. Nitrogen cycling in wheat crops: Soil, plant and aerial nitrogen transport.
- Kelling, KA & EE Schulte. 1986. Review DRIS as a part of a routine plant analysis program. *J. Fertil. Issues* 3: 107-112.
- Johnson, CM & A Ulrich. 1959. Analytical methods. For use in plant analysis. *Calif. Agric. Exp. St. Bull.* 766: 26-77.
- Krantz, BA; WL Nelson & LF Burkhardt. 1948. Plant tissue tests as a tool in agronomic research. 137-156. *In*: HB Kitchen (ed.). *Diagnostic techniques for soil and crops*. American Potash Institute, Washington, DC.
- Landriscini, MR. 1992. Nivel de nutrientes edáficos y foliares en trigo en la región semiárida pampeana. Tesis de Magister en Ciencia del Suelo. UNS. Bahía Blanca.
- Landriscini, MR; JA Galantini & RA Rosell. 2001. Aplicación de la metodología DRIS al cultivo de trigo en la región semiárida pampeana. INPOFOS. *Informaciones Agronómicas* 12: 6-12.
- Lázzari, MA; MR Landriscini; MA Cantamutto; AM Miglierina; R Rosell *et al.*, 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 19: 101-108.
- Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2005. Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. *Ciencia del Suelo* 23: 69-77.
- Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2007. Uptake of nitrogen by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Communication in Soil Sc. and Plant Analysis* 38(3-4): 371-388.
- Melsted, SW; HL Motto & TR Peck. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.* 61: 17-20.
- Malavolta, E.; G Vitti & S Oliveira. 1997. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Princípios e Aplicações*. 2. Ed. Piracicaba: POTAFOS, Brasil.
- Prystupa, P. 2006. Cebada y Avena. Pág. 317-334. *En*: HE Echeverría y FO García (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Otegui, O; J Zamalvide; C Perdomo; R Goyenola & A Cerveñanasky. 2001. Momento de aplicación de nitrógeno: efecto en eficiencia de uso del fertilizante, rendimiento y concentración proteica en grano de cebada cervecera en Uruguay. *Terra* 20: 71-80.
- Sumner, M. 1975. An Evaluation of Beaufils Physiological Diagnosis Technique for Determining the Nutrient Requirement of Crops. *Soil Science. Bulletin* N° 5. University of Natal, Sur Africa.
- Sumner, ME. 1977. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 149-167.
- Sumner, ME. 1981. Diagnosing the sulfur requirement of corn and wheat using foliar analysis. *Agron. J.* 45: 87-90.
- Sumner, M. 1986. *Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) as a Guide to Orchard Fertilization*. Food and Fertilizer Technology Center. Boletín N° 231, Taiwan.
- Sumner, ME. 2001. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 5. INPOFOS 9: 8 pp.
- Walworth, JL & ME Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6: 149-188. B.A. Stewart (ed.). Springer-Verlag. New York. Inc.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.