

**REMOCION DE NUTRIENTES POR CEBADA EN SEIS SUELOS
DE CUNDINAMARCA Y BOYACA-COLOMBIA***Edgar Madero***Edgar Amézquita*****COMPENDIO**

En Colombia la producción de cereales como la cebada está restringida por variados factores entre los que destacan lluvias irregulares, heladas, acidez del suelo, infertilidad y enfermedades, inadecuado manejo del suelo, además de escaso germoplasma adaptado. Una alternativa para enfrentar parte del problema está en la selección de líneas en diferentes terrenos, tendiente a desarrollar variedades adaptables aún a suelos de baja productividad. Para llegar a una apropiada recomendación a los agricultores se consideró la cantidad de nutrientes removidos por las plantas en madurez fisiológica. La cebada comercial 124 mostró preferencias por suelos de moderada fertilidad pero tuvo una relativa menor eficiencia en la conversión de nutrientes a grano frente al trigo Bonza. Sus requerimientos nutricionales para alcanzar rendimientos cercanos a 2.5 t/ha sin riego se definieron así: Macronutrientes (kg/ha): 30 N, 8 P, 45 K, 8 Ca, 2.5 Mg; Micronutrientes (g/ha): 140 Mn, 40 Zn, 24 Cu, 340 Fe. La mas alta eficiencia nutricional para varias líneas promisorias de cebada sembradas en terrenos ondulados se dió en el suelo mas productivo pero arcilloso (Vertic Tropudalf), una respuesta intermedia se halló en uno húmifero ácido poco profundo (Paralithic Humitropept) y una muy baja eficiencia se reportó en el de menos retención de humedad e infértil (Ustic Dystropept). Se seleccionaron dos líneas con baja adaptación a los tres terrenos mencionados, una rindió bien en el ambiente más difícil, y tres líneas exhibieron alta adaptación a todos los terrenos escogidos.

Palabras claves: ADAPTACION, TERRENO, PRODUCTIVIDAD DEL SUELO, FERTILIDAD DEL SUELO.

ABSTRACT**NUTRIENT UPTAKE BY BARLEY IN SIX COLOMBIAN SOILS**

In Colombia, the increase of barley production is restricted by such factors as irregular rainfall, low temperatures, soil acidity, low fertility and disease, associated with improper soil management and scarce improve germoplasm. A suitable use of fertilizers is an alternative to face part of the problem by means of plant breeding in different terrain, tend to develop of low soil productivity tolerant cultivars. To arrive at appropriate recommendations for farmers, it was consider the quantity of removal nutrients at physiological maturity. The 124 commercial barley prefered moderately fertile soils but with a lower nutritional efficiency after a commercial cultivar wheat. Its nutritional requirements to reach a 2.5 t/ha yield without irrigation was: Macronutrientes (kg/ha): 30 N, 8 P, 24 K, 8 Ca, 2.5 Mg; Micronutrients (g/ha): 140 Mn, 40 Zn, 24 Cu, 340 Fe. For many new barley cultivars sowed over undulating terrains, the highest nutritional efficiency was in a Vertic Tropudalf, moderately behavoir in the Paralithic Humitropept and the lowest in an Ustic Dystropept. There were two cultivars with low adaptation, only one grow well in a difficult terrain and three cultivars exhibit good adaptation in all studied terrains.

Keywords: SOIL FERTILITY, SOIL PRODUCTIVITY, TERRAIN, ADAPTATION.

INTRODUCCION

En la formulación de fertilizantes, además del análisis del suelo, es ideal disponer de una guía acerca de la cantidad de nutrientes que extraen los cultivos del suelo para la obtención de un determinado rendimiento. La disponibilidad de este tipo de información, específica para cada

cultivo en un medio agroecológico determinado, brinda mayor confiabilidad en la interpretación y recomendación técnica de fertilizantes.

Para lograr altos rendimientos en los cultivos, es necesario que las raíces de las plantas dispongan

* Agrólogo M.Sc. Programa Cereales Menores, convenio ICA-Malterías. Actualmente Profesor Asociado UN - Sede Palmira. A.A. 237.

** Ing. Agr. Ph.D. Programa de Suelos ICA - Tibaitatá.

de adecuada cantidad de nutrientes en el volumen de suelo explorado, especialmente en el período de llenado de frutos.

Por ejemplo, en el período entre la antesis y la cosecha se ha detectado una alta toma de N (1.5-3.0 kg/ha/día) y P(0.36-0.41 kg/ha/día), siempre y cuando haya un buen suplemento de agua y nutrientes en el subsuelo (Doorembos y Kassam, 1979).

Se deduce entonces que si la concentración de nutrientes en la solución del suelo es adecuada, la toma de nutrientes es alta en respuesta a las demandas del cultivo, tanto durante el período vegetativo como durante la formación de órganos de almacenamiento (granos, raíces, tubérculos).

Estudios sobre tasas de absorción de nutrientes han demostrado que en promedio, las partes vegetativas toman un 48% del N del grano en cereales. El patrón del P es similar, pero el K sufre pérdidas en las partes vegetativas antes de llegar al grano (Wild y Jones, 1988).

La distinción entre la toma y la remoción de nutrientes por el cultivo es importante para analizar sus requerimientos y balance nutricional. Para mayor conocimiento de la adaptación de los cultivos se tiene el índice de cosecha por nutriente, que es la fracción del nutriente presente en la parte económicamente importante del cultivo al final de la cosecha (Wild y Jones, 1988).

El índice de cosecha para el N y el fósforo es más alto con cereales mejorados de tallo corto que con los de tallo largo, porque la relación grano/paja es más alta (Kassam, 1980).

Otro índice usado para describir la eficiencia de uso de los nutrientes es el índice fisiológico, que se expresa en la siguiente forma:

$$IF = \frac{\text{Rendimiento útil}}{\text{Unidad de nutriente tomado}}$$

En este aspecto, hay apreciables diferencias entre las especies y entre las variedades, pues absorben cantidades muy distintas de cada uno de los elementos del suelo. Estos cambios son más grandes con los micronutrientes (Wild y Jones, 1988).

Debido a las diferencias entre genotipos, hay buenos prospectos para mejorar las variedades de cultivos que pueden crecer bien en condiciones donde podrían haber deficiencias o toxicidades.

Una enumeración sistemática de los requerimientos de los cultivos, desde el punto de vista nutricional, que tuviera carácter mundial podría ser de gran ayuda, pero sería necesario actuar con mucha cautela al aplicar valores críticos a determinadas zonas, pues ellos serían una guía general que no tendría en cuenta la variabilidad de suelos, las variedades, el clima, el tipo de manejo de suelos y cultivos y el efecto del tiempo de uso del suelo (FAO, 1985).

En la actualidad no existe una fuente autorizada de información sobre requerimientos de los cultivos. Entre algunas de las fuentes que pueden consultarse pueden citarse las siguientes:

Vink, 1975 (36 cuadros); Young, 1976 (33 cuadros); Arens, 1977 (2 cuadros) sobre caña de azúcar y banano; FAO, 1976 (salinidad, sodicidad); FAO, 1978-80-81 (28 cuadros para períodos de crecimiento); Doorembos y Kassam, 1979 (2 cuadros sobre requisitos de agua, clima y suelos); Kassam, 1980 (14 cuadros para varios cultivos sobre períodos de crecimiento); Sillanpaa, 1982 (requerimientos de microelementos); Sys y Riquier, 1980 (18 cuadros sobre requisitos de suelo); Ilaco, 1981 (clima, suelos, período de crecimiento), etc.

Sin embargo, uno de los medios más adecuados para determinar los requerimientos de los cultivos, consiste en comparar y combinar las fuentes de carácter general, como las citadas anteriormente, con la investigación y la experiencia del personal local en el país o en la zona de evaluación (FAO, 1985).

Aunque las plantas requieren 13 elementos nutritivos esenciales es usual encontrar en la literatura que solo parte de ellos se cuantifican cuando se determinan las cantidades extraídas por una cosecha. Esto fundamentalmente es debido a que se trabaja solo con base en los nutrientes que se absorben en mayor cantidad y que generalmente se aplican como fertilizantes (Amézquita, 1988).

Una cosecha de 2.500 kg/ha de cebada extrae del suelo aproximadamente 70 kg N/ha, 30 kg P/ha y 60 kg K/ha. La cebada para cervecera requiere un buen abastecimiento de P y K, sin excesos de N (Amézquita, 1988).

Una cosecha de 4.000 kg/ha de trigo extrae del suelo 80 kg N/ha, 20 kg P/ha y 40 kg K/ha (Amézquita, 1988).

Con base en estos antecedentes se planeó realizar el presente trabajo en las zonas cebaderas y trigueras del altiplano cundiboyacense con los siguientes objetivos:

1. Hacer una aproximación a las cantidades de elementos esenciales que extrae una variedad comercial de cebada en seis suelos.
2. Conocer la eficiencia relativa en la utilización de nutrientes por parte de seis líneas experimentales de cebada en tres suelos.
3. Establecer diferencias nutricionales entre trigo y cebada.

MATERIALES Y METODOS

Ensayos en fertilización y remoción de nutrientes

Para estudiar el efecto de la fertilización en la remoción de nutrientes por la cebada variedad 124 y por el trigo variedad Bonza, en un primer ensayo se escogieron seis suelos (Cuadro 1) presentes en la zona cerealera fría de Cundinamarca y Boyacá y se analizó las parcelas que presentaron máximos rendimientos con el mínimo de fertilización.

El sistema de siembra utilizado en el primer ensayo fue al voleo y las dosis de fertilizantes se escogieron de acuerdo con los análisis de suelos y con las experiencias del personal del convenio ICA-Bavaria (Cuadro 2), empleando fuentes simples de fertilizantes: Urea (46% N), superfosfato (45% P_2O_5) KCl (60% K_2O) y cal dolomítica (40% $CaCO_3$ y 10% $MgCO_3$). El efecto de los tratamientos fertilizantes no se analizó en este trabajo y la aplicación de diferentes fórmulas solo persiguió obtener un rendimiento máximo real.

La variedad comercial 124 se utiliza para cervecera, es de seis carreras, semiprecoz, de porte medio-bajo y susceptible a royas y *Helminthosporium*. El trigo Bonza tiene buena adaptación en diferentes ambientes y, adecuada calidad molinera. Para detectar si había respuesta diferencial en la remoción de nutrientes por seis líneas promisorias de cebada para malta (2,5,6,14,20 y 25), en un segundo ensayo se establecieron pruebas regionales en tres terrenos del Departamento de Boyacá (Cuadro 3).

Las líneas experimentales eran de seis carreras, de porte medio a alto; dos semiprecozes (2 y 14) y el resto de desarrollo normal; (2 y 5) susceptibles a roya parda (*P. hordei*), y las otras moderadamente resistentes; y dos heterocigotas (2 y 6).

El sistema de siembra utilizado en el segundo ensayo fue en surcos, se dejaron dos repeticiones sin fertilizar y dos con una fertilización básica de 300 kg/ha de NPK, para estudiar la adaptabilidad de las líneas a las condiciones típicas del terreno y la respuesta de éstas a la fertilización.

La densidad de siembra fue de 500.000 plantas/ha.

Cada ensayo se instaló en bloques al azar con tres repeticiones, con unidades experimentales de 5.5 m² y de 2.7 m² para los ensayos de fertilización y líneas experimentales respectivamente.

El clima del semestre 89A estuvo dentro de los normal, es decir:

CUADRO 1. Algunas características del perfil y de la capa arable de seis suelos en Cundiboyacá en los cuales se realizaron los ensayos con Cebada y Trigo, 1989A.

MUNICIPIO (Familia de Suelos)	Altura	Drenaje Interno	Capacidad de infiltr. y Capacidad de retención enraizada	Susceptibilidad a erosión	Textura	pH	M.O. %	P ppm	Al	Ca	Mg me/100	K	CIC	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Santa Rosa (Typic Humitropept franco fino)	2900	Bien drenado	Alta	Alta	FARL	5.2	12.6	68	2.2	2.2	0.1	0.33	14.3	102	4.8	6.2	1.6	0.14
Mosquera (Andic Eutropept franco fino)	2550	Bien drenado	Alta	Baja	FARL	6.0	7.3	150	-	11.2	3.4	0.96	17.2	167	1.8	8.6	7.9	0.36
Firavitoba (Typic Dystropept esqueletal franco)	2490	Rápido	Baja	Muy Alta	FA	5.2	3.7	46	1.0	3.8	0.7	0.32	8.4	324	2.4	19.1	2.1	0.57
Carupa (Ultic Haplustalf fino)	2980	Moderado	Moderada	Alta	FAR	5.5	6.4	140	-	10.5	1.7	0.92	22.1	350	1.9	6.7	2.3	0.13
Guasca (Ultic Haplustalf franco fino/fino)	2710	Moderado	Alta	Alta	FAR	5.1	3.6	25	0.3	3.5	1.5	0.37	-	324	1.7	17.3	2.0	0.36
Susa (Udic Argiustoll fino)	2590	Moderado	Moderada	Media	FAR	5.3	3.7	12	0.2	4.1	5.1	0.1	12.6	-	-	-	-	-

CIC = Ac. Anónico pH 8.2 IN
 Tex.= Textura del primer horizonte: F(franca), L(limosa), A(arcillosa), Al(arenosa)

CUADRO 2. Tratamientos de fertilización en los ensayos de fertilización con Cebada y Trigo

Localidad	Número del Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cal	Calfos
Santa Rosa de Viterbo	1	0	0	0	0	-
	2	75	90	0	0	-
	3	75	45	0	0	-
	4	45	45	0	0	-
	5	30	30	30	0	-
	6	75	45	20	500	-
Mosquera	1	0	0	0	0	-
	2	30	30	30	300	-
	3	30	30	30	450	-
	4	30	30	30	600	-
	5	30	30	30	900	-
Firavitoba	1	0	0	0	0	-
	2	38	38	38	0	-
	3	46	45	0	0	-
	4	75	45	0	0	-
	5	75	0	0	0	-
	6	38	38	38	500	-
Carmen de Carupa	1	0	0	0	0	-
	2	26	52	12	0	-
	3	46	0	0	0	-
	4	46	45	0	0	-
	5	46	90	0	0	-
	6	46	0	0	1000	-
	7	69	68	0	0	-
	8	69	90	0	0	-
Guasca	1	0	0	0	-	-
	2	13	26	6	-	-
	3	46	0	0	-	-
	4	92	0	0	-	-
	5	115	0	0	-	-
	6	46	45	0	-	-
	7	46	90	0	-	-
	8	92	45	0	-	-
	9	92	90	0	-	-
	10	92	90	60	-	-
	11	138	45	0	-	-
	12	138	90	0	-	-
	13	92	180	0	-	-
Susa (Trigo)	1	0	0	0	-	-
	2	36	26	6	-	-
	3	46	0	0	-	-
	4	46*	0	0	-	-
	5	46	45	0	-	-
	6	69	45	0	-	-
	7	69	68	0	-	-
	8	46	45	45	-	-

* Fraccionamiento: Mitad a la siembra, mitad al macollamiento.

CUADRO 3. Algunas características del perfil y de la capa arable de tres suelos en Boyacá, en los cuales se realizaron los ensayos con seis líneas de Cebada, 1989A.

MUNICIPIO (Familia de Suelos)	Altura	Drenaje Interno	Capacidad infiltr. y Capacidad retención enraizamiento	Susceptibilidad erosión hídrica	Textura	pH	M.O. %	P	Al	Ca	Mg	K	CIC	Fe	Cu	Mn	Zn	R
			humedad					ppa	ppa	ppa	ppa/100	ppa				ppa		
Siachoque (Vertic Tropudalf fino)	2800	Bien drenado	Alta	Media	FArL Ar	5.7	2.4	76	-	4.8	1.7	0.7	7.1	350	7.3	3.0	8.2	0.8
Sogamoso (Paralithic Humitropept; franco grueso)	3050	Bien drenado	Moderada	Alta	FA FArAg	5.4	6.6	71	0.8	5.2	0.5	0.5	9.2	410	2.6	7.4	2.3	0.7
Tuta (Udic Argiustoll fino)	2800	Moderado	Moderada	Alta	FA FArA	5.2	3.3	24	1.0	6.2	0.8	0.9	10.2	120	2.6	9.3	1.9	0.7

CIC = Ac. Amonio pH 8.2 N
 Tex. = Textura de los dos primeros horizontes: F (franca), Ar (arcillosa), A (arenosa), g (gravillosa).

Santa Rosa de Viterbo, Boyacá con 12.8°C y 400 mm; Mosquera, Cundinamarca con 13.8°C y 450 mm; Firavitaba, Boyacá con 14.3°C y 400 mm; Carmen de Carupa, Cundinamarca con 11.3°C y 360 mm; Guasca, Cundinamarca con 13.2°C y 400 mm y Susa, Cundinamarca con 13.7°C y 350 mm. No hubo heladas.

VARIABLES DE RESPUESTA

En la fase de antesis, se hizo un muestreo al azar de la parte aérea de tres plantas completas en el centro de cada parcela, se les determinó la humedad, la biomasa seca, se molieron, se mezclaron todas las repeticiones y se les determinó la concentración de nutrientes esenciales en el laboratorio, de acuerdo con las metodologías del ICA para análisis de tejidos vegetales (ICA, 1988). Este análisis se realizó únicamente a las plantas de las parcelas con máximo rendimiento y mínimo de fertilización en cuanto al primer ensayo se refiere.

La cantidad de nutrimento removido por el cultivo en una hectárea se calculó de la siguiente manera:

Biomasa seca/ha = No. plantas/ha x peso seco promedio de tres plantas.

$$\text{kg de nutriente extraído/ha} = \frac{\text{Biomasa seca/ha} \times \text{Concentración de nutriente (\%)}}{100}$$

EFICIENCIA NUTRICIONAL

El mejor ambiente es aquel donde se da un alto rendimiento asociado con una baja remoción de nutrientes, lo que dependerá en primer lugar de la genética del cultivo y en segundo lugar de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Para estimar el grado de contribución de cada nutriente en la producción de grano, se utilizó el índice fisiológico o índice de eficiencia nutricional definido por la relación entre el rendimiento útil y las unidades de elemento extraído.

METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE SUELOS

El análisis de rutina de la capa arable se realizó según metodología del ICA (1988); las cualidades ambientales se dedujeron a partir de la morfología del perfil en el sitio del ensayo, siguiendo las directivas que aconseja la FAO (1985) en tal sentido, y también por observación directa durante el trabajo de campo, apoyada en los estudios de suelos del IGAC de la zona.

CUALIDADES DE LOS SUELOS

Todos los suelos escogidos poseen una temperatura edáfica media anual entre 8 y 15°C. En cuanto a los suelos de Carupa, Santa Rosa y Guasca se hallan en relieve ondulado, presentan una moderada y alta capacidad de infiltración y almacenamiento de agua equiparable a la del suelo de Mosquera de relieve plano (Cuadro 1). El de Firavitoba ubicado en relieve colinado posee drenaje rápido y menor capacidad de almacenamiento de agua frente a los demás.

La susceptibilidad a la erosión hídrica es en general alta, con la excepción del suelo de Mosquera.

La fertilidad general desde el punto de vista de la disponibilidad actual y potencial de nutrientes y de su capacidad de retención contra el lavado es baja en el suelo de Firavitoba, media en los de Santa Rosa y Guasca, moderadamente alta en el de Carupa y alta en el de Mosquera.

Puede presentarse fijación de fosfatos en los de Santa Rosa y Firavitoba y existe desbalance de bases en el de Santa Rosa.

RESULTADOS Y DISCUSION

ENSAYO DE FERTILIZACION (PARTE I)

Suelo vs rendimiento y extracción de nutrientes.

La producción de grano concordó con el potencial productivo que la clasificación indica para cada suelo (Cuadro 1, Figura 1). En el Andic

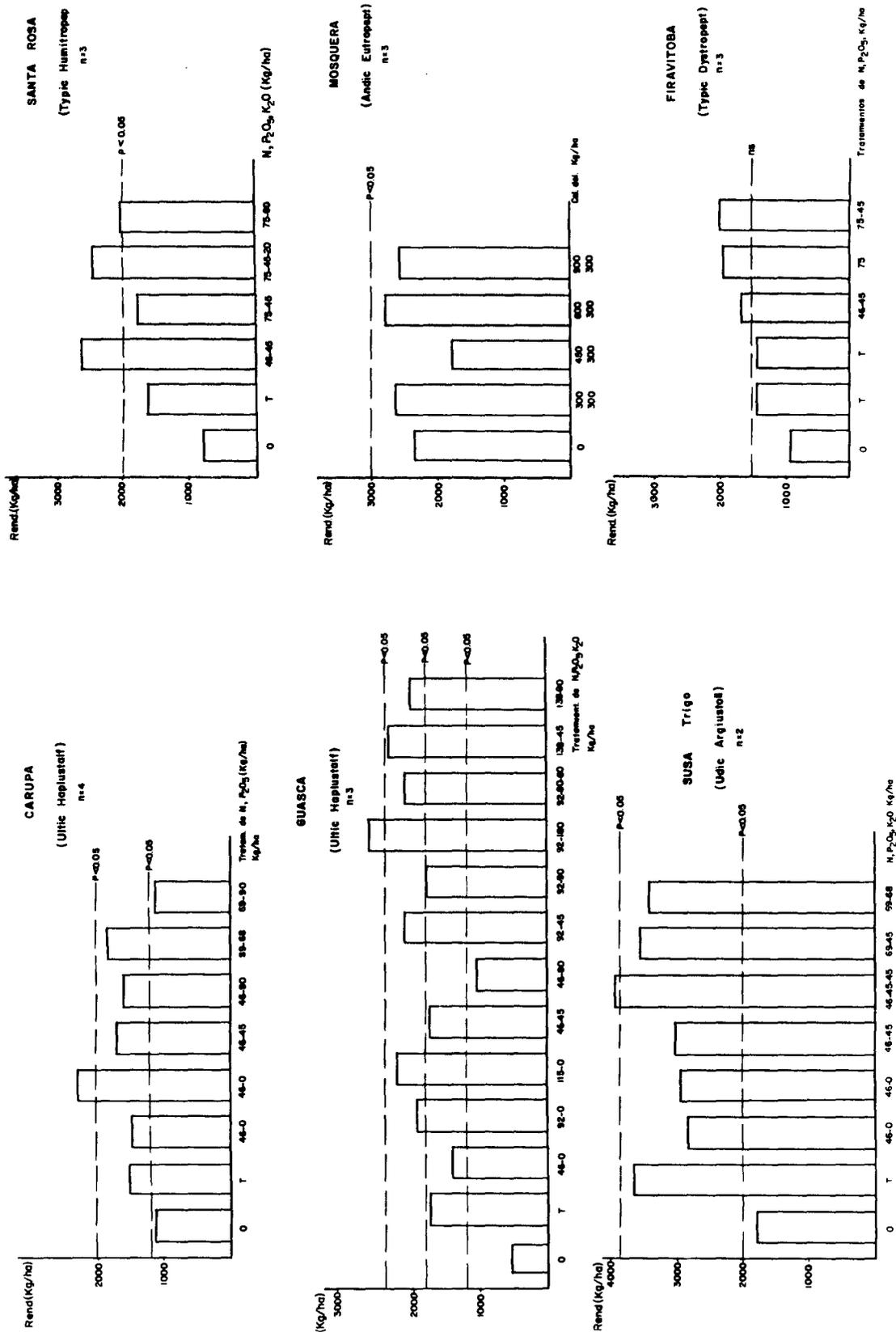


FIGURA 1. Rendimientos de grano de Cebada y Trigo en seis suelos. 1989A.

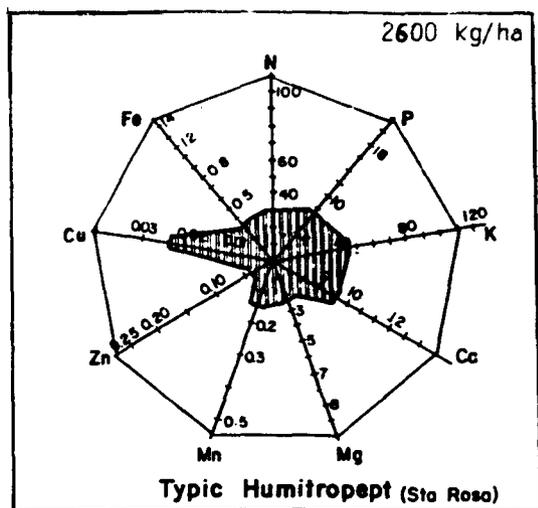
Eutropept de Mosquera se obtuvo el mejor rendimiento: 2.765 kg ha⁻¹; en el Typic Humitropept de Santa Rosa o en los Ultic Haplustalf de Guasca y Carupa, la producción de la cebada fue un poco menor: 2.610, 2.646 y 2.228 kg ha⁻¹ respectivamente, dada su moderada fertilidad; sin embargo, la presencia de un clima relativamente más seco proporcionó un ambiente adecuado para la maduración del grano. En el Typic Dystropept de Firavitoba la cebada dió el menor rendimiento (1950 kg ha⁻¹) principalmente por las condiciones físicas del suelo.

En la Figura 2, se presenta la cantidad de nutrientes extraídos por cebada y por trigo, en las unidades experimentales que arrojaron los más altos rendimientos con el mínimo de fertilizantes aplicados. La cebada presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) en la remoción de nutrientes, dependiendo del tipo de suelo. Las figuras inscritas dentro de los polígonos muestran que hubo remoción diferencial de nutrientes dependiendo del suelo. Es claro que en el suelo de Mosquera hubo mayor extracción general de nutrientes que en los otros sitios y en los de Firavitoba y Santa Rosa se dió la menor extracción; sin embargo, la explicación de por qué los rendimientos en Santa Rosa y Guasca fueron bastante similares a los obtenidos en Mosquera, parece no deberse solo a la remoción de nutrientes, la cual fue menor, sino a un adecuado suministro de humedad a nivel radicular, garantizado por la pendiente plana en el sitio específico de cada prueba y por las condiciones de estructura, friabilidad, textura y profundidad efectiva que permitieron adecuada infiltración y almacenaje de agua.

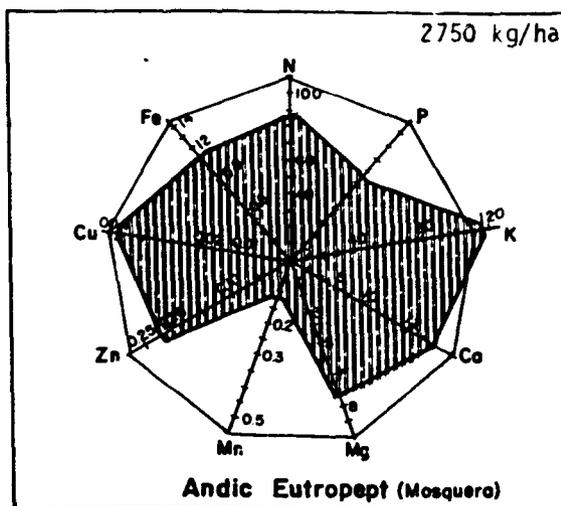
SUELOS VS EFICIENCIA NUTRICIONAL

La variedad 124 fue eficiente en ambientes donde sin ser inadecuada la concentración de nutrientes, su suministro no fue abundante ni rápido; e hizo consumo de lujo en los suelos más fértiles. Se muestra entonces una relación entre la eficiencia nutricional en cada suelo y algunas condiciones ambientales que probablemente influyeron en la nutrición (Cuadro 4).

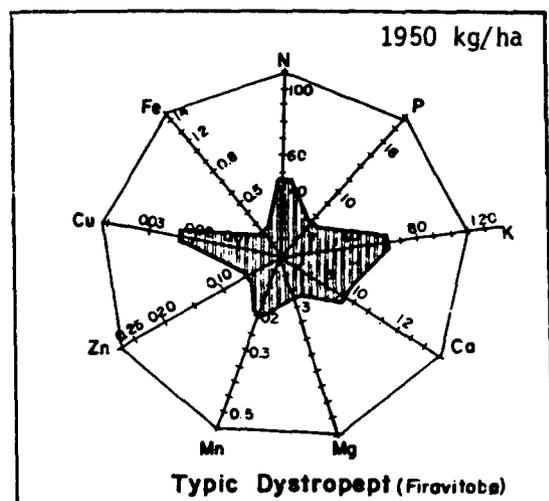
- **La eficiencia de N** fue mayor en Santa Rosa, Carupa y Guasca, y menor en Firavitoba y Mosquera. En los tres primeros suelos es posible contar con tasas de mineralización del nitrógeno bajas, dadas las bajas temperaturas ambientales que tienen estos suelos, lo que posiblemente impidió alto suministro de NO_3^- y NH_4^+ provenientes de la materia orgánica y de la úrea aplicada. En Firavitoba se puede esperar una alta tasa de mineralización debido a que la estructura del suelo estaba muy degradada en tamaño, esto aumentó la superficie específica y así la degradación biológica; y en Mosquera el suministro de N tuvo que ser más alto dadas sus excelentes condiciones de oxígeno, humedad y contenido de materia orgánica en un ambiente de mayor temperatura.
- **La eficiencia de P** fue más alta en Santa Rosa y en Firavitoba donde es probable esperar fenómenos de fijación de fosfatos por aluminio libre, y menor en el resto de suelos donde hay poca fijación y mucha más disponibilidad de fósforo.
- **La eficiencia de K** fue mayor en Santa Rosa, que presentaba desbalance de Ca : Mg : K y moderada cantidad de K intercambiable; moderada en Firavitoba y Guasca con una moderada cantidad de K intercambiable y baja eficiencia en Mosquera y Carupa donde el K intercambiable era abundante en el suelo.
- **La eficiencia de Ca** fue mayor en Santa Rosa y Guasca coincidiendo con contenidos de calcio relativamente más bajos pero no inadecuados; moderadamente baja en Firavitoba con quizás mayor disponibilidad debido a su baja CIC, y baja eficiencia en Carupa y Mosquera con muy alta concentración de calcio intercambiable en el suelo.
- **La eficiencia de Mg** correspondió también con lo planteado hasta ahora, es decir, baja eficiencia emparejada con alta disponibilidad



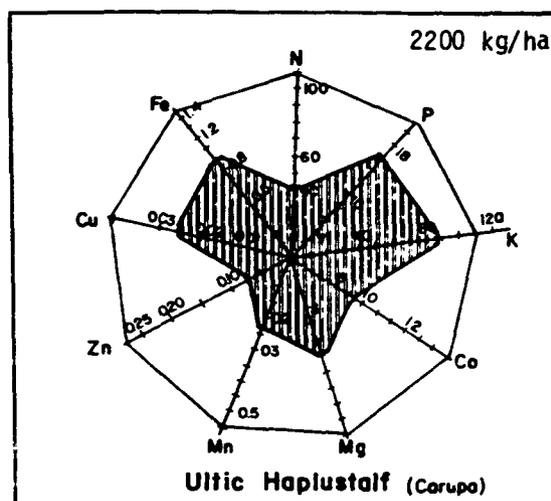
Tratamiento: 46N + 45 P205 kg/ha



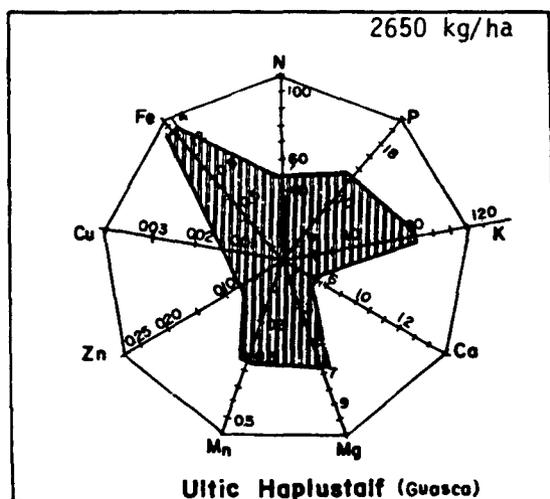
Tratamiento: Testigo absoluto.



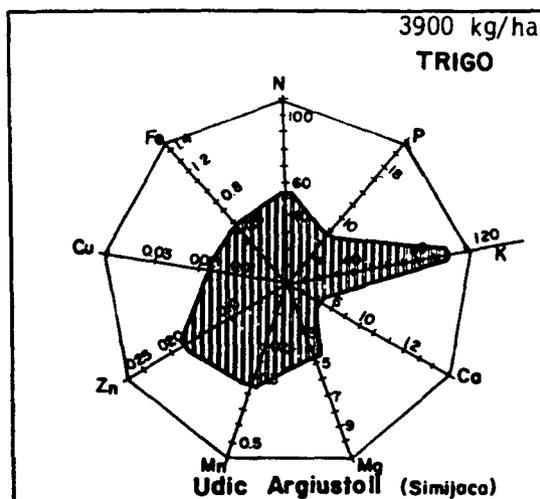
Tratamiento: 175 kg N/ha



Tratamiento: 46N + 1000 cal dolomita



Tratamiento: 92N + 180 kg P205/ha



Tratamiento: 45N - 45 P205 - 45 kgK20/ha

FIGURA 2. Demandas nutricionales de Cebada (V.124) y Trigo (V. Bonza): kg/ha, en seis suelos cerealeros de Cundinamarca y Boyacá 1989.

CUADRO 4. Eficiencia en la utilización de nutrientes por la cebada 124 en cinco municipios de Cundiboyacá. 1989.

Municipio	N	P	K	Ca	Mg
Santa Rosa	87	345	58	318	1087
Mosquera	32	212	23	138	329
Firavitoba	40	354	31	224	812
Carupa	53	139	25	250	377
Guasca	51	203	33	551	407

en el suelo y viceversa.

Se puede hacer la siguiente aproximación a las cantidades de elementos esenciales que extrae una variedad comercial de cebada en suelos representativos del área cebadera, con base en los resultados del suelo de Santa Rosa que reportó la mayor eficiencia nutricional para 2.600 kg/ha de rendimiento:

30kgN/ha, 8kgP/ha, 45kgK/ha, 8kgCa/ha,
2.5kgMg/ha, 140gMn/ha, 40gZn/ha,
24gCu/ha, 340gFe/ha

Y donde hubo un consumo de lujo de nutrientes en Mosquera con 2750 kg/ha de rendimiento:

86kgN/ha, 13kgP/ha, 116kgK/ha,
20kgCa/ha, 8.5kgMg/ha, 130gMn/ha,
220gZn/ha, 38gCu/ha, 990gFe/ha

TRIGO VS CEBADA

En general el trigo fué más eficiente que la cebada en la conversión de nutriente a grano (Cuadro 5), quizás por poseer un arquetipo más evolucionado o por poseer un ciclo de vida más largo que le permitió mayores posibilidades de consumo en períodos de estrés de agua. El suelo utilizado tenía cualidades similares a las del suelo de Guasca aunque con una mayor fertilidad en profundidad; presentó además desbalance de bases a favor del magnesio en su capa arable.

La absorción de elementos en cebada tuvo el siguiente orden: $K > N > P > Ca > Mg$,

mientras que en trigo tuvo una modificación interesante: $K > N > P > Ca = Mg$ y fue menos exigente en P, Ca y Fe.

ENSAYO DE VARIEDADES (PARTE II)

CUALIDADES DE LOS SUELOS

En el suelo de Tuta se presentó alguna dificultad para la infiltración y permeabilidad del agua, lo que lo desmejoró ampliamente frente a los otros dos que se destacan por su buen drenaje interno. En cuanto a la capacidad para retener humedad aprovechable, el de Sogamoso y el de Tuta mostraron menor capacidad que el de Siachoque debido a la presencia de texturas más gruesas (Cuadro 2).

La capacidad de enraizamiento se vió reducida en el suelo de Sogamoso debido a la cercanía de roca poco consolidada en la base del horizonte A. El riesgo de erosión hídrica se estima en general entre medio y alto.

La disponibilidad general de nutrientes tanto actual como potencial al momento del ensayo, osciló entre moderada y moderadamente baja, con algún desbalance de calcio y magnesio en todos, y posible fijación de fósforo en el suelo de Tuta. Se notó también disminución relativa de Cu, Mn y Cinc en los suelos de Sogamoso y Tuta.

La retención de nutrientes contra el lavado es obvio que se tiene que reducir en aquellos perfiles con texturas gruesas.

CUADRO 5. Remoción de nutrientes y eficiencia de utilización por la cebada (Variedad 124) y el trigo (variedad Bonza) en suelos de Cundiboyacá. 1989.

Nutriente	Nutrientes extraídos kg/ha		Eficiencia de utilización	
	Cebada n=16	Trigo n=4	Cebada n=16	Trigo n=4
N	50	94	52	74
P	11	7	243	567
K	78	95	33	42
Ca	10	4.9	293	797
Mg	5	4.7	588	879
Mn	0.20	0.32	-	-
Zn	0.09	0.17	-	-
Cu	0.02	0.17	-	-
Fe	0.77	0.56	-	-

ADAPTACION A LOS TRES AMBIENTES

En iguales condiciones de clima y topografía, la más alta eficiencia nutricional ocurrió en el Vertic Tropudalf, con un segundo lugar para el Paralithic Humitropept (Cuadro 6) y baja eficiencia en el Ustic Dystropept.

La relación entre el rendimiento y la nutrición vista a nivel varietal (Cuadros 7, 8, 9) llevó a concluir que las líneas 2 y 14 no se adaptaron a las condiciones ambientales de estos suelos.

La número 6 fué quizás la más rústica si se tiene en cuenta que respondió mejor en el ambiente de Tuta que fué el más difícil de los tres, y tuvo modesto comportamiento agronómico en Siachoque y Sogamoso.

Las variedades 5 y 25 exhibieron alta adaptabilidad dada su buena eficiencia nutricional en las tres unidades de tierra. La 25 sin fertilización se comportó mejor en Tuta.

Finalmente, la número 20 también mostró muy alta eficiencia en los ambientes de Sogamoso y Siachoque pero declinó en el de Tuta lo que llevó a considerarla como exigente en requerimientos agroclimáticos.

En los primeros dos ensayos la fertilización casi duplicó la producción. Como consecuencia del aumento de biomasa con la fertilización, la remoción de nutrientes también aumentó significativamente.

CUADRO 6. Extracción promedio de nutrientes por cebada en Boyacá, 1989, n = 12.

Localidad (Subgrupo)	Sin/Con utiliz. NPK	Rend. grano kg/ha	Extracción de Nutrientes (kg/ha)				Eficiencia Nutricional					
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Siachoque (Vertic Tropudalf)	S	1913	26.4	9.0	37.3	3.8	2.3	72	212	51	503	83
	C	2885	30.4	9.9	44.2	4.2	2.5	94	291	65	686	115
Sogamoso (Paralithic Humitropept)	S	1033	39.9	12.4	57.0	6.3	2.7	25	83	18	163	38
	C	3259	60.1	13.1	74.7	10.7	3.4	54	248	43	304	95
Tuta (Ustic Dystropept)	S	1435	72.8	12.0	121.8	10.6	5.9	19	119	11	135	24
	C	2029	130.5	20.5	233.9	12.7	9.3	15	98	8	159	21

CUADRO 7. Eficiencia nutricional de la Cebada en Tuta, Boyacá.

$$E = \frac{\text{Rendimiento de grano}}{\text{Rendimiento de C/nutriente}}$$

No. Línea	Sin/Con Fertilizantes NPK	Rendimiento de grano (kg/ha)	Eficiencia Nutricional (kg/ha)				
			N	P	K	Ca	Mg
2	S	1249	11	78	8	95	150
	C	2129	10	80	7	68	181
5	S	1759	28	164	15	175	338
	C	2407	27	176	15	158	394
6	S	1434	26	166	17	270	358
	C	1527	24	136	15	238	436
14	S	1249	13	91	8	79	164
	C	1342	8	57	4	41	107
20	S	1342	23	131	12	134	285
	C	2361	14	84	7	87	181
25	S	1574	24	120	14	167	296
	C	2129	25	139	13	178	343

CUADRO 8. Eficiencia nutricional de seis líneas en Sogamoso, Boyacá 1989.

$$E = \frac{\text{Rendimiento de grano}}{\text{Rendimiento de C/nutriente}}$$

No. Línea	Sin/Con Fertilizantes NPK	Rendimiento de grano (kg/ha)	Eficiencia Nutricional (kg/ha)				
			N	P	K	Ca	Mg
2	S	925	16	53	10	100	237
	C	3611	42	195	32	237	722
5	S	1196	43	114	25	288	480
	C	3518	70	281	48	378	1099
6	S	740	20	64	17	148	284
	C	2777	58	267	47	433	1262
14	S	1111	25	92	18	132	396
	C	2253	34	189	33	164	512
20	S	1388	36	128	26	261	578
	C	3888	66	301	56	360	1080
25	S	740	19	66	14	151	352
	C	3518	62	295	52	399	1302

CUADRO 9. Eficiencia nutricional de seis líneas de Cebada en Siachoque, Boyacá 1989.

$$E = \frac{\text{Rendimiento de grauo}}{\text{Rendimiento de C/nutriente}}$$

No. Línea	Sin/Con Fertilizantes NPK	Rendimiento de grano (kg/ha)	Eficiencia Nutricional (kg/ha)				
			N	P	K	Ca	Mg
2	S	1990	75	211	50	537	865
	C	2546	70	212	50	553	942
5	S	1897	71	225	53	557	1580
	C	3194	98	287	65	742	1140
6	S	1481	74	174	50	528	673
	C	2453	93	281	65	845	1362
14	S	1712	64	199	51	380	684
	C	1990	68	231	46	432	737
20	S	2036	77	245	52	550	1018
	C	4073	115	433	90	831	1404
25	S	2360	78	216	49	472	737
	C	3055	129	321	76	727	1388

CUADRO 10. Niveles foliares en seis líneas de Cebada en Siachoque sin(S) con(C) fertilización. Vertic Tropudalf. 1989

Con/Sin Variedad	Rend.	Nutriente Absorbido									
		kg/ha					gr/ha				
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	Fe	
2	S	1990.5	26.5	9.4	39.2	3.7	2.3	96.4	60.4	13.7	136
	C	2546.0	36.0	12.0	50.61	4.6	2.7	27.5	98.4	17.4	737
5	S	1897.5	26.7	8.4	35.8	3.4	1.2	114.0	49.0	12.3	176
	C	3194.0	32.3	11.1	493.1	4.3	2.8	91.1	42.3	10.5	193
6	S	1481.0	20.0	8.5	29.2	2.8	2.2	87.8	50.3	7.3	219
	C	2453.0	26.1	8.7	37.7	2.9	1.8	69.5	41.6	7.3	136
14	S	1712.5	26.4	8.6	33.3	4.5	2.5	54.5	61.8	11.9	138
	C	1990.5	28.9	8.6	42.5	4.6	2.7	17.3	45.8	10.9	160
20	S	2036.5	26.4	8.3	38.7	3.7	2.0	53.5	48.0	10.9	178
	C	4073.5	35.3	9.4	44.9	4.9	2.9	130.5	79.2	14.1	241
25	S	2360.5	30.2	10.9	47.7	5.0	3.2	132.8	99.3	15.1	223
	C	3055.0	23.6	9.5	39.8	4.2	2.2	3.35	57.7	8.2	226

CUADRO 11. Niveles foliares en seis líneas de Cebada en Sogamoso sin(S) con(C) fertilización. Paralithic Humitropept. 1989.

Con/Sin Variedad	Rend.	Nutriente Absorbido									
		kg/ha					gr/ha				
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	Fe	
2	S	925.0	54.5	17.4	85.0	9.2	3.9	61.3	160.3	22.9	227
	C	3611.0	84.4	18.5	112.8	15.2	5.0	154.3	178.1	27.0	448
5	S	1296.0	29.8	11.3	51.1	4.5	2.7	57.2	51.2	13.7	208
	C	3518.0	50.1	12.5	72.4	9.3	3.2	174.0	80.1	15.1	254
6	S	740.0	36.7	11.4	41.5	5.0	2.6	45.3	48.5	10.9	76
	C	2777.5	47.3	10.4	58.9	6.4	2.2	94.8	59.9	11.4	125
14	S	1111.0	43.6	12.0	60.0	8.4	2.8	65.0	81.9	17.4	207
	C	2253.5	64.7	11.9	67.2	13.7	4.4	74.6	96.6	18.3	367
20	S	1388.0	37.6	10.8	52.6	5.3	2.4	52.2	58.6	18.3	196
	C	3888.0	58.2	12.9	68.4	10.8	3.6	231.2	81.9	23.8	288
25	S	740.0	37.4	11.2	51.7	4.9	2.1	53.1	76.9	14.6	225
	C	3518.0	56.2	11.9	67.2	8.8	2.7	206.1	101.2	15.5	289

CUADRO 12. Niveles foliares en seis líneas de Cebada en Tuta sin(S) con(C) fertilización. Ustic Dystropept. 1989.

Con/Sin Variedad	Rend.	Nutriente Absorbido									
		kg/ha					gr/ha				
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	Fe	
2	S	1249.5	105.6	15.9	154.2	13.1	8.3	196.0	161.6	33.8	1042
	C	2129.5	196.8	26.5	296.9	31.2	11.7	607.7	330.6	79.2	1489
5	S	1759.0	62.2	10.7	111.7	10.0	5.2	107.6	79.6	21.0	416
	C	2407.0	88.9	13.6	150.9	15.2	6.1	189.1	116.7	32.5	631
6	S	1434.5	54.9	8.6	80.6	5.3	4.0	125.9	68.7	18.3	408
	C	1527.5	62.6	11.2	98.2	6.4	3.5	112.2	85.6	19.6	472
14	S	1249.5	92.6	13.6	152.7	15.8	7.6	179.0	117.2	35.7	548
	C	1619.5	184.0	28.2	381.0	38.6	15.1	395.7	265.6	72.8	1226
20	S	1342.0	57.0	10.2	104.5	10.0	4.7	116.7	80.1	23.8	451
	C	2361.0	167.5	27.9	322.6	27.0	13.0	294.0	250.5	77.8	1190
25	S	1574.0	64.7	13.1	112.3	9.4	5.3	184.1	115.4	27.4	688
	C	2129.0	82.8	15.3	154.7	11.9	6.2	179.5	147.4	34.3	610

VARIEDADES VS REMOCION DE NUTRIENTES

Existieron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre las líneas de cebada evaluadas para remover los nutrientes del suelo (Cuadros 10, 11, 12).

Se destacan las líneas 2, 14, 20 y 25 por su alta capacidad para extraer elementos tales como N, P, K, Ca y Mg; y las líneas 5 y 6 por su baja remoción de nutrientes en general. Esta tendencia se mantuvo independiente de la aplicación de fertilizantes.

En el caso de la extracción de Mn, Zn, Cu y Fe, las diferencias fueron ligeras; pero las líneas 5 y 6 extrajeron muy poco Cu mientras que la 20 se destacó por la alta remoción de este elemento en dos de tres sitios.

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION

Este factor tuvo influencia positiva en todos los aspectos considerados. Vale destacar que el rendimiento de grano se triplicó por efecto de la fertilización en el Humitropept, lo que significaría que había un limitante nutricional severo; subió un 30% en el Dystropept quizás por limitaciones físicas, y un 50% en el Tropudalf, muy de acuerdo con sus cualidades ambientales y químicas.

En lo referente a las respuestas varietales a la fertilización, merece mención aparte la línea 25 en el suelo de Siachoque debido a que decayó el contenido y cantidad de todos los nutrientes cuando se fertilizó el suelo, no acompañado por disminución del rendimiento (Cuadros 10, 11, 12).

En los otros dos ensayos la situación no se dio, lo cual indica que fue un fenómeno localizado de nutrición, el cual no se puede explicar con los datos disponibles. Sin embargo, en este mismo suelo se encontró una tendencia similar con elementos como Mn, Zn y Cu por parte de las líneas 2, 5, 6 y 14 no así con la número 20 cuya producción promedio estuvo entre las más altas, entendiéndose entonces que sí fue un factor

limitativo del crecimiento de la cebada y que ésta última variedad fue de las que mejor reguló su nutrición en respuesta a una fertilización básica.

BIBLIOGRAFIA

- AMEZQUITA, E. Fertilización del trigo y la cebada. En: Fertilización de cultivos en clima frío. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos, 1988. p. 83-106.
- ARENS, P.L. Edaphic criteria in land evaluation. En: FAO. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1979. (Riego y drenaje; boletín no. 33).
- AYERS, R.S. y WESTCOTT, D.W. Calidad del agua para la agricultura. Roma: FAO, 1976. 97 p. (Riego y drenaje; boletín No. 29).
- FAO. Informe de proyecto de zonas agroecológicas. Vol. I. Methodology and results for Africa. Vol. II. Results for Southwest Asia. Vol. III. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Vol. IV. Results for Southeast Asia World soil resources report 48/1 (1978), 48/2 (1978), 48/3 (1981), 48/4 (1980), Roma: FAO.
- _____. Evaluación de tierras para agricultura en secano. Roma: FAO, 1985. p. 62-72. (Boletín de suelos no. 52.).
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Manual de laboratorio para análisis de suelos, aguas y tejidos. Bogotá: ICA, 1988.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Estudios varios en el Departamento de Boyacá. Bogotá: IGAC. 1976, 1980, 1982 y 1983.
- ILACO. Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. Amsterdam: Elsevier, 1981. 1981.
- KASSAM, A.H. Agroclimatic suitability for rainfed crops of winter barley, upland rice, groundnut, sugarcane, banana/plantain and oil palm in Africa. En: FAO, 1980b, v., 97-122.
- SILLANPAA, M. Micronutrients and nutrients status of soils: a global study. Roma: FAO, 1982. 443 p. (Soils Bulletin; 48).
- SYS, C. and RQUIER, J. Ratings of FAO soil units for specific crop production. En: FAO, 1980b, V. 55-96.

VINK, A.P.A. Land use in advancing agriculture. Berlin : Springer, 1975.

WILD, A. and JONES, H.P. Mineral nutrition of crops and plants. En: Russell's soil conditions and plant growth. 11 ed. Longman scientific and technical, 1988. 498 p.

YOUNG, A. Tropical soils and soil survey. Cambridge University, 1976.