



UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**Indicadores de manejo de la fertilización nitrogenada en Cebada
Cervecera: resultados de 1996**

Por

Jorge Washington FIRPO D'ACOSTA

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Agrícola-
Ganadera).

MONTEVIDEO
URUGUAY
2002

Tesis aprobada por:

Director:

.....
Ing. Agr. Esteban Hoffman

.....
Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Carlos Perdomo

.....
Ing. Agr. Omar Casanova

Fecha:

Autor:

.....
Jorge Washington FIRPO D'ACOSTA

AGRADECIMIENTOS

Al Director de la presente Tesis, **Ing. Agr. Esteban Hoffman** por el apoyo recibido en todas las etapas de esta.

A la **Ing. Agr. Mónica Cadenazzi** de la Cátedra de Estadística de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, por su invaluable colaboración y estímulo.

A los **Ings. Agrs. Miguel Pastorini y Claudio Pons**, por su enorme ayuda en todas las tareas realizadas.

A los **productores** que cedieron sus cultivos para instalar los ensayos, y a todos los que de una manera u otra hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi Señora, **María Ema Reggio Brussain**, por la fe inquebrantable que depositó en mí a lo largo de todo este tiempo, y a mis hijas, **María Emilia, Anaclara y Soledad**, que desde sus miradas, me empujaron permanentemente.

A **mi Madre** que me enseñó el camino y a **mi Padre**, que confió tozudamente en mí, quién hoy lamentablemente no podrá disfrutar lo que esperó tanto tiempo, por padecer de demencia senil.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IV
1) <u>INTRODUCCIÓN:</u>	1
2) <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA:</u>	3
2.1) <u>INTRODUCCIÓN:</u>	3
2.2) <u>ASPECTOS DETERMINANTES DE LA RESPUESTA AL N :</u>	3
2.2.1) <u>Requerimientos del cultivo:</u>	3
2.2.2) <u>Aporte de nitrógeno del suelo:</u>	5
2.3) <u>RESPUESTA AL N, DEL CULTIVO DE CEBADA CERVECERA:</u>	7
2.3.1) <u>Efecto del n sobre el rendimiento y sus componentes:</u>	7
2.3.2) <u>Efecto del N sobre la calidad del grano:</u>	8
2.4) <u>IMPORTANCIA DEL MOMENTO DE AGREGADO DE N:</u>	11
2.5) <u>INDICADORES DE RESPUESTA AL NITROGENO:</u>	12
2.6) <u>INDICADORES Y/O METODOS QUE EVALUAN CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE N POR EL SUELO:</u>	14
2.6.1) <u>Uso del contenido de materia orgánica del suelo (antecedentes nacionales):</u>	14
2.6.2) <u>Medidas del N inorgánico (N-NO₃ - N-NH₄):</u>	15
2.6.2.1) <u>Uso del contenido del contenido de N-NO₃ del suelo:</u>	15
2.6.2.1.1) <u>Información nacional:</u>	15
2.6.2.1.2) <u>Información internacional:</u>	16
2.6.2.2) <u>Uso del N-NH₄ como indicador:</u>	17
2.6.3) <u>Métodos de Incubación:</u>	17
2.6.3.1) <u>Incubación anaeróbica:</u>	18
2.6.4) <u>Tratamientos químicos del suelo:</u>	19
2.6.4.1) <u>Método KCLA-N (Extracción de N-NH₄ mediante cloruro de potasio):</u>	20
2.6.4.2) <u>Método PBBA-N (Extracción de N-NH₃ mediante Borato de fósforo):</u>	20
2.6.4.3) <u>Absorbancia ultravioleta (UV) de un extracto de NaHCO₃ a 200 nanómetros:</u>	21
2.6.4.4) <u>Método del infrarrojo cercano (NIRS):</u>	22
2.7) <u>METODOS PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE N POR EL CULTIVO:</u>	23
2.7.1) <u>Métodos basados en medidas directas del N en planta:</u>	24
2.7.2) <u>Métodos basados en medidas indirectas del N en planta:</u>	26
3) <u>MATERIALES Y METODOS</u>	29
3.1) <u>DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES</u>	29

3.2) DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
3.2.1) <u>Tratamientos</u>	30
3.3) DETERMINACIONES.....	30
3.3.1) <u>Nitrato en suelo</u>	30
3.3.2) <u>Amonio en suelo</u>	30
3.3.3) <u>Materia orgánica del suelo</u>	30
3.3.4) <u>Potencial de mineralización de NH₄⁺</u>	31
3.4) ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
3.4.1) <u>Ecuaciones</u>	31
3.4.2) <u>Cálculo de los rendimientos relativos</u>	31
3.4.3) <u>Modelo de Cate y Nelson</u>	32
3.4.4) <u>Software utilizado</u>	32
4) RESULTADOS.....	33
4.1) CARACTERIZACION CLIMÁTICA DEL AÑO POR REGION.....	33
4.2) RESPUESTA AL AGREGADO DE NITRÓGENO A LA SIEMBRA.....	33
4.3) INDICADORES A LA SIEMBRA.....	38
4.3.1) <u>Nivel de N-NO₃ en el suelo a profundidad 0-20 cm</u>	38
4.3.2) <u>Otros indicadores</u>	40
4.3.2.1) El porcentaje de materia orgánica.....	41
4.3.2.2) El contenido de N-NH ₄	43
4.3.2.3) El potencial de mineralización.....	43
4.3.2.4) El nitrógeno mineral total.....	45
4.4) CORRELACIONES ENTRE LOS INDICADORES.....	46
4.5) NITRATOS EN EL SUELO A LA SIEMBRA Y RENDIMIENTO RELATIVO, SEGÚN TIPOS DE SUELO Y DIFERENTES VARIABLES DE MANEJO.....	47
4.6) RESPUESTA AL N A Z-22.....	53
4.6.1) <u>Nivel de N-NO₃ en suelo a 0-20 cm</u>	57
4.6.2) <u>Relación entre el rendimiento real y nivel de N-NO₃ a Z-22, sin N a la siembra y diferentes dosis de N a Z-22</u>	59
4.7) PROTEÍNA EN GRANO EN RESPUESTA AL AGREGADO DE N.....	62
4.7.1) Contenido de proteína en grano para los sitios con y sin respuesta al agregado de N en siembra y Z-22, en función del contenido de nitratos en el suelo....	69
4.8) MAGNITUD Y EFICIENCIA DE LA RESPUESTA AL AGREGADO DE N A SIEMBRA Y Z22.....	70
4.9) EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL N APLICADO.....	72
4.9.1) <u>Según NO₃ en el suelo a siembra y Z-22</u>	72
4.10) AGRUPACIÓN DE EXPERIMENTOS POR EL NIVEL DE RESPUESTA AL N A LA SIEMBRA EN RENDIMIENTO Y PROTEÍNA.....	72
4.11) NIVELES DE N-NO ₃ EN SUELO A SIEMBRA Y Z-22 Y SU RELACIÓN CON LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	74
5) CONCLUSIONES.....	76

6) <u>RESUMEN</u>	77
7) <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	79
8) <u>ANEXOS</u>	85

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°		Página
1	Respuesta en Kg grano/KgN agregado según diferentes autores nacionales hasta principios de la década del 90.....	8
2	Descripción de los diferentes sitios.....	29
3	Temperatura y precipitaciones para las regiones Sur y Norte durante 1996 y la serie histórica.....	33
4	Sitios identificados a través de la metodología de Cate y Nelson con respuesta y no respuesta al agregado de N, y su respuesta real en rendimiento al agregado de N (dosis máxima para cada sitio)....	40
5	Coefficientes de correlación lineal entre los diferentes índices de disponibilidad de N a la siembra.....	47
6	Descripción de los sitios experimentales según grupos de respuesta.....	50
7	Detalle de la concentración de N-NO3 en ppm según tipo de suelos y manejo anterior.....	61
8	Agrupación de experimentos según respuesta al N a la siembra y proteína.....	73
Figura N°		Página
1	Respuesta en grano de cebada cervecera a diferentes dosis de N a la siembra para la dosis de N a Z-22 (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).....	34
2	Relación entre rendimiento relativo y contenido de N-NO3 en suelo 0-20 cm.....	38
3	Relación entre rendimiento relativo y otros indicadores de suelo a la siembra.....	41
4	Relación entre el porcentaje de materia orgánica y el nivel de N-NO3 en suelo (0-20 cm) a la siembra	42
5	Relación entre el Potencial de mineralización de N-NH4 y el N-	45

	NO3 a la siembra en ppm.....	
6	Relación entre el Nitrógeno mineral total y el N-NO3 a la siembra en ppm.....	46
7	Concentración de N-NO3 en primeros 20 cm de suelo (ppm), según tipo de suelos y manejo anterior.....	48
8	Relación entre N-NO3 en el suelo a la siembra y rendimiento relativo según grupos de respuesta.....	51
9	Relación entre N-NO3 a la siembra (0-20 cm) y rendimiento real, con las diferentes dosis de N agregados.....	52
10	Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).....	53
11	Relación entre el N-NO3 a Z-22 en los 20 cm de suelo (ppm) y el rendimiento relativo (%), para 30, 60 y 90 unidades de N a la siembra.....	58
12	Relación entre N-NO3 a Z-22 y el rendimiento relativo según dosis a la siembra.....	59
13	Relación entre N-NO3 a Z-22 y rendimiento real, sin agregados de N a la siembra y diferentes dosis de N a Z-22.....	60
14	Relación entre N-NO3 a la siembra y Z-22 para sitios del Sur y Norte.....	61
15	Respuesta en porcentaje de proteína en grano, a diferentes dosis de fertilizante N a la siembra y Z-22 = 0 para sitios del Sur (1 a 21) y del Norte(101 a 112).....	63
16	Relación entre el porcentaje de proteína en grano y el rendimiento promedio en grano (Kgs/ha).....	68
17	Relación entre la eficiencia en kgs de grano/UN y el porcentaje de proteína en grano.....	68

18	Relación entre rendimiento relativo y N-NO ₃ a la siembra y Z-22, según contenido de proteína (%) mayor o menor a 12% sin agregado de N	69
19	Relación entre N-NO ₃ a la siembra y Z-22 con rendimiento relativo, con agregado de N a siembra y Z-22 (diferentes dosis), según el contenido en proteína (%) mayor o menor a 12%	70
20	Relación entre el N-NO ₃ a la siembra y Z-22 con la respuesta al agregado a la dosis óptima física de N a la siembra y Z-22.....	71
21	Eficiencia en kgs/grano por unidad de nitrógeno según nitratos a la siembra y Z-22.....	72
22	Relación entre el N° de espigas/m ² y el Rendimiento relativo (%)	74
23	Relación entre espigas/m ² según concentración de nitratos a la siembra y Z-22.....	75

1) INTRODUCCIÓN:

El Nitrógeno, a pesar de ser uno de los nutrientes esenciales para las plantas más abundantes en la naturaleza, es el elemento que más comúnmente limita los rendimientos de los cultivos. Este, cumple roles fundamentales en el desarrollo fisiológico de las plantas, y por ello es probable que no exista otro nutriente del cual se puedan derivar más beneficios económicos al ser manejado eficientemente. Sin embargo, lo esencial de sus requerimientos, y la gran cantidad de procesos de pérdida a los que se enfrenta el N, hacen que la definición de su manejo eficiente, constituya en muchas regiones del mundo un problema todavía no completamente resuelto (Baethgen, 1992a).

En el caso particular de la Cebada cervecera, el manejo óptimo del N se hace más difícil, debido a que una excesiva disponibilidad de N para el cultivo, puede traer como consecuencia riesgos de vuelco y aumento del contenido proteico del grano (Baethgen, 1992^a; Hughes y Charbonnier, 1992).

Durante la década de los 80 el sistema de producción de cebada cambió sustantivamente en el Uruguay, comenzándose a disponer de cultivares de mayor potencial de rendimiento y menores riesgos de vuelco. Por otra parte, el fraccionamiento del fertilizante se volvió más generalizado en algunas regiones agrícolas. Finalmente, las rotaciones cortas de cultivo con pasturas se han vuelto práctica común en la zona agrícola del país, por lo que los suelos destinados al cultivo de cebada comenzaron a presentar mejores potenciales productivos (Baethgen, 1992a).

Pese a que la investigación nacional ha generado un volumen importante de información respecto al tema fertilización nitrogenada a lo largo de las últimas cuatro décadas, que ha permitido un progresivo ajuste de las recomendaciones (Castro, 1997), la fertilización nitrogenada del cultivo en el Uruguay hasta mediados de la década del noventa, continuaba basándose en consideraciones sobre el efecto de la interacción de: cultivo anterior, suelo y clima, en el suministro de N por el suelo (Perdomo, 1996).

La afirmación anterior, quedó en evidencia a partir de un relevamiento de 25000 has de trigo efectuado por (Guido y Lewdiukow, 1989), quienes no encontraron relación alguna, entre las dosis de N aplicadas por el productor a la siembra, con la recomendación que surgía de manejar la guía de fertilización de cultivos de Oudri; Castro; Doti; Carbonell, (1976), uno de los primeros intentos a nivel nacional, para racionalizar el uso de N.

Posteriormente a esta Guía de fertilización de Cultivos, que basa su recomendación en la estimación del potencial de aporte de la chacra en función del tipo de suelo, edad de la chacra y cultivo anterior, se han intentado desarrollar esquemas de ajuste de la fertilización N más objetivos.

Es así que Capurro, (1982), desarrolló un método de ajuste de la dosis de N para el cultivo de cebada basado en el uso combinado del contenido de materia orgánica y nitratos (NO₃-) en el suelo a la siembra, estableciendo dosis económicamente óptimas (DEO) para

las diferentes combinaciones de contenido de nitratos y de materia orgánica presente en el suelo.

Más adelante, en 1989, en el marco del proyecto FAO-PNUD URU/88/001 y el Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger, (CIAAB), se inició una red de experimentos de fertilización nitrogenada de cebada cervecera, con el fin de evaluar además del efecto del N sobre el desarrollo y producción del cultivo, su efecto sobre la calidad cervecera del grano y que culminó con la formulación de un modelo que considera el rendimiento potencial y la concentración de N en la planta a Z-30, para la recomendación de las dosis de fertilizante N a ser agregado (Baethgen, 1992^a).

A pesar de estos esfuerzos, la carencia de un sistema ampliamente aceptado y validado para la recomendación de N en cultivos de invierno en Uruguay, se relaciona con las dificultades aún existentes para predecir la capacidad de suministro de N de los suelos (Perdomo, 1996).

El presente trabajo se inscribe dentro del proyecto Facultad de Agronomía – Mesa Nacional de cebada, tendiente a determinar criterios objetivos para ajustar la fertilización nitrogenada a la siembra y Z-22, sin afectar la calidad industrial del grano de cebada cervecera.

2) REVISIÓN BIBLIOGRAFICA:

2.1) INTRODUCCIÓN:

La necesidad de fertilizante N de un cultivo se basa en dos aspectos fundamentales, por un lado, el rendimiento esperado, a partir del cual se estima cuánto N debe absorber el mismo, y por otro lado, la cuantificación de lo que el suelo puede aportar, considerando las pérdidas del sistema y la eficiencia de absorción de N por parte del cultivo (García, 1994). A partir de la diferencia entre lo requerido por el cultivo y lo suministrado por el suelo, debería determinarse la dosis de fertilizante nitrogenado a ser agregado (Perdomo, 1996; Lopez Bellido, 1991; Soper, Racz y Fehr, 1970).

2.2) ASPECTOS DETERMINANTES DE LA RESPUESTA AL N :

2.2.1) Requerimientos del cultivo:

En cuánto a la extracción de nitrógeno del suelo, por parte de la cebada cervecera, (Domínguez Vivancos, 1989; cit. por Lopez Bellido, 1991) da cuenta de extracciones de 2.4 kgs de nitrógeno por cada 100 kg de grano producido, en tanto que Soper, Racz, y Fehr, (1970), registraron extracciones de 4 kgs de nitrógeno/100 kgs de grano.

Los requerimientos de N del cultivo son diferentes en las distintas etapas de crecimiento, siendo relativamente bajos en las primeras etapas de desarrollo (siembra, y macollaje), aumentando rápidamente la tasa de absorción de N, hasta el momento de mayor demanda. Este se registra entre el inicio del encañado (1er. nudo visible) y floración (momento de máxima producción de materia seca), pudiendo asimilar en este período, de 3 a 5 kg de N/ha/día (Baethgen, 1992a).

Esta demanda solo excepcionalmente puede ser satisfecha por el suelo, cuyo poder de suministro varía entre 0.5 y 2 kg de N/ha/día (García, 1998), descendiendo en las etapas finales del cultivo, durante el período de formación del grano, en donde, el llenado del mismo, se lleva a cabo fundamentalmente por removilización y traslocación desde hojas, tallos y glumas (Baethgen, 1992ab).

Remy y Viaux, (1982); cit. por Baethgen, (1992^a); muestran las necesidades de N para cultivos de trigo de alto rendimiento en Francia, destacando cuatro estados fundamentales del crecimiento del cultivo, indicando para los mismos, los valores típicos de absorción de N:

- ✓ Etapa vegetativa (hasta fin de macollaje), absorbe unos 50 kgs N/ha
- ✓ Elongación de la caña, período de máxima intensidad de crecimiento, con una absorción de aproximadamente 180 kg N/ha

- ✓ Período de formación del grano, en donde se enlentece la absorción y la translocación se torna fundamental
- ✓ Etapa de maduración del grano, con pérdida de agua y nitrógeno de los tejidos vegetales.

Pese a los bajos requerimientos en las primeras etapas de desarrollo, numerosos trabajos de investigación demostraron la importancia de un adecuado nivel de N disponible a la siembra (Baethgen y Alley, 1989b; Baethgen, 1991; cit. por Baethgen, 1992b).

Hughes y Charbonier, (1991b), trabajando en torno a las limitantes al potencial de rendimiento en una variedad nacional (FNC-1), corroboran la importancia de una adecuada disponibilidad de N inicial, al aparecer el 1er. Macollo (F2 en la escala de Feeckes), concluyendo que el nivel de NO₃ en planta en ese momento, se asoció significativamente con el rendimiento en grano.

Esto se debe, a que el crecimiento inicial del cultivo previo a la emergencia de la espiga, afecta según Thorne, (1966); cit. por Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); en forma indirecta el rendimiento en grano, a través de su efecto en la superficie potencial para fotosíntesis, y en forma directa influye en el número y tamaño potencial de los sitios en los que el almidón va a almacenarse.

Según Coughn y Elgarte, (1983); cit. por Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); el nitrógeno, estaría determinando la formación de un mayor aparato fotosintético en las parcelas fertilizadas, asegurando mayor potencialidad a través de los componentes del rendimiento, espigas/planta y granos/espiga.

Por lo tanto, desde el punto de vista del manejo del cultivo, debería asegurarse en primer lugar, una buena producción de materia seca con adecuado nivel de nutrientes en la planta hacia el final del ciclo de crecimiento, de manera de asegurar una buena capacidad de traslocación de los mismos hacia el grano (Baethgen, 1992ab).

Esto ha sido corroborado a nivel nacional por Melatti, (1984); cit. por Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); al encontrar que el rendimiento final se correlaciona con el crecimiento inicial alcanzado entre los primeros 45-60 días de vida del cultivo, etapa ésta que va “preparando a la planta” y es la que define el área foliar que produce luego el llenado de grano.

Estas diferencias en crecimiento inicial encontradas por este autor, explicarían las diferencias en rendimiento a causa de la fertilización nitrogenada, encontrando un efecto significativo de la fertilización sobre el rendimiento, concluyendo que una buena parte de esas diferencias en rendimiento final causadas por el N, son ocasionadas en forma indirecta a través del efecto que tienen sobre el crecimiento y desarrollo en las primeras etapas del cultivo.

Hoffman, (1990); cit. por Ernst; Hoffman; Mailhos y Urruty, (1992a); señala que una alta producción de materia seca (M.S.), hasta macollaje, determina altos niveles de competencia intraespecífica en el momento de fijación del potencial de rendimiento por tallo, por lo que no siempre existe relación positiva con el rendimiento en grano. El nivel de M.S. al cual se pierde esta relación, depende de la variedad (Hoffman; Ernst; Brassetti; Espasandín y Siri, 1992), y de las condiciones térmicas en las que ocurre el proceso (Tanaka 1969; cit. por Ernst; Hoffman; Mailhos y Urruty, 1992a).

García, (1993), trabajando con el cultivar Estanzuela Quebracho en dos épocas de siembra, una normal y otra tardía, verifica que dosis altas de N iniciales en siembras de Julio, condujeron a altas poblaciones de macollos, que propiciaron una mayor incidencia de enfermedades y vuelco, al intensificarse la competencia por luz y altura de las plantas, en tanto que en siembras de Agosto, esta tendencia no se observó, ya que no hubo vuelco en ninguno de los tratamientos.

Dadas las características de los suelos y del régimen de lluvias en el Uruguay, es probable que la mayor parte del N aplicado a la siembra en altas dosis, al no ser absorbido inmediatamente por el cultivo, permanezca sujeto a procesos de pérdida en el suelo (lixiviación, denitrificación, etc.), (Baethgen, 1992^a).

Finalmente, el N a fines de macollaje (inmediatamente antes del comienzo del encañado), afecta generalmente el número de macollos que producen espiga (fertilidad), por lo que, las aplicaciones de N efectuadas a Zadoks-30, encuentran al cultivo en un estado de desarrollo previo al momento de mayor tasa de producción de materia seca, y de absorción de N. Alley et al., cit. por Baethgen, (1992^a); demostraron que Zadoks-30, es el último estado de crecimiento del cultivo, en el cual se puede esperar alta respuesta al agregado de N, la cual aparece condicionada por el potencial de producción determinado hasta ese momento. Aplicaciones posteriores a ese estado, podrían en cambio, incrementar el porcentaje de nitrógeno del grano (Perdomo, 1996).

Por lo tanto, un manejo posible sería fraccionar la fertilización en varias aplicaciones durante el ciclo de crecimiento, de forma de hacer coincidir los requerimientos del cultivo con la disponibilidad de N en el suelo, disponiendo de cantidades suficientes del mismo a la siembra y/o comienzo del macollaje, y lo “necesario” al final del macollaje, que permita concretar el potencial de producción determinado hasta ese momento (Baethgen, 1992b).

2.2.2)) Aporte de nitrógeno del suelo:

Según Stevenson, (1982); cit. por Baethgen, (1992b); la mayor parte del N de los suelos se encuentra bajo forma orgánica (generalmente más del 90%), siendo transformado mediante el proceso microbiano de “mineralización” en N inorgánico, amonio y nitratos, que es la forma en la cual las plantas absorben el N (Baethgen, 1992b).

La disponibilidad de N para un cultivo en un momento dado, es el resultado de la interacción de muchos factores. Los más importantes son generalmente factores de suelo

(tipo de suelo, historia anterior, estado actual), factores climáticos (especialmente lluvia y temperatura), y de manejo (fertilización, sistema de laboreo, antecesores, largo de barbecho), (Moron, 1996).

Las fuentes de N más importantes para cultivos y pasturas, son: la mineralización de N orgánico, el aporte de N por leguminosas, las deposiciones animales y los fertilizantes químicos. Los procesos de pérdida más importantes son, la lixiviación o lavado de NO_3 , la denitrificación, la volatilización de NH_3 , la remoción de N por los cultivos cosechados y la erosión (Baethgen, 1992b).

Las dosis medias de N agregadas en la fertilización de cultivos en A. Latina (Bumb, 1989; cit. por Baethgen, 1992b), continúan siendo relativamente bajas, lo que según Baethgen, (1992b), sugiere que la mineralización del N orgánico, continúa siendo una fuente fundamental para la nutrición nitrogenada de los cultivos en la región.

Lo que realmente interesa es la mineralización neta (diferencia entre el N inorgánico producido por mineralización y aquel utilizado – inmovilizado – por los microorganismos del suelo), la cual es afectada por algunos factores como: la textura del suelo, la temperatura, la descomposición de los residuos vegetales, el laboreo del suelo, etc., y que por ende afectan la capacidad del suelo de suministrar N en forma sostenida a los cultivos (Baethgen, 1992b).

La cantidad de N disponible, proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), varía de un año a otro, dependiendo de las condiciones climáticas, principalmente lluvia y temperatura (Baethgen, 1992b). En años, con períodos Enero-Mayo secos (precipitaciones por debajo del promedio), se acumulan importantes cantidades de N provenientes de la mineralización, sucediendo lo contrario, cuando en el mismo período, ocurren precipitaciones por encima del promedio, resultando en suelos con bajo N disponible a siembra (Baethgen, 1992^a; Capurro; Bathgen; Trujillo, y Bozzano, 1982).

Casanova, (1992), estimó que por cada 100 mm de aumento en las precipitaciones, seis meses antes de la siembra, el contenido de N- NO_3 en el suelo (0-20cm), se redujo en 6 ppm ($R^2= 0,76$), tendencia que se acentuó más en los suelos arenosos, haciéndose aún más limitante en los rastrojos de difícil descomposición (sorgo, maíz, campo natural).

Baethgen, (1992b), durante dos años, en experimentos de respuesta de cebada cervecera, encontró para 10 suelos de Uruguay, que el N aportado por el suelo, variaba entre 30 y 70 kg N/ha para suelos de texturas livianas, y entre 50 y 110 kg N/ha para suelos de texturas medias a pesadas a lo largo del ciclo del cultivo, lo que demuestra la importancia que puede alcanzar esta fuente de N para los cultivos en la región y, lo variable que puede ser, en función del tipo de suelo, manejo anterior y condiciones climáticas imperantes antes y durante el ciclo de crecimiento de los cultivos.

García, (1994), en relación a lo anterior, destaca que es probable que la eficiencia del N originado por mineralización durante el ciclo del cultivo, sea mayor que la del N inicial o

del fertilizante (estimada en 50% para nuestras condiciones), por estar menos expuesto a los procesos de pérdida, al ser liberado gradualmente.

Según Díaz et al., (1980); cit. por Morón, (1996); la capacidad de los suelos para suministrar nitrógeno vía mineralización, disminuye desde que el suelo es laboreado por primera vez, siendo los de textura más liviana quienes pierden más rápidamente esa capacidad de suministro, en tanto que, en sistemas de rotación de cultivos con pasturas, generalmente el primer año de cultivo posterior a la pastura, es el año con mayor capacidad para suministrar N, por parte del suelo.

Por lo tanto, la capacidad de suministro de N de los suelos, puede llegar a ser baja o alta, en función de los distintos sistemas de producción, condiciones climáticas, y diferentes variables de manejo de suelos y cultivos empleados (Baethgen, 1992b).

2.3) RESPUESTA AL N, DEL CULTIVO DE CEBADA CERVECERA:

2.3.1) Efecto del Nitrógeno sobre el rendimiento y sus componentes:

En trigo y cebada, el Nitrógeno es un insumo de gran impacto sobre el rendimiento. Cálculos efectuados para ciertas relaciones insumo/producto en el cultivo de cebada, demuestran que la ganancia por kilogramo de N invertido, es elevada (García, 1998).

Existe un sinnúmero de trabajos Nacionales e Internacionales que confirman respuestas en rendimiento a la adición de N, con valores que oscilan desde 9 a 44 kgs/unidad de N agregado.

Schildbach, (1971); Gupta; Agrawal y Saxena, (1978); Singh et al., (1979); Christensen y Killorn, (1981); Jamriska, (1981) y Lynch; Stewart y White, (1981); cit. por Korn y Vila, (1983); han obtenido respuestas positivas al agregado de N de hasta 36 kgs de grano/unidad de N aplicado en condiciones variables y con distintas dosis.

La información nacional generada hasta fin de la década del 80, se encuentra resumida en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 1: Respuesta en Kg grano/KgN agregado según diferentes autores nacionales hasta principios de la década del 90

AUTORES Y AÑO	DOSIS DE N (a máxima respuesta)	Kg grano/KgN (respuesta)	Comp. Que determina la respuesta
Echevarría, Ohono - 1980	25	16	Espigas/m ²
Echevarría, Ohono - 1980	25	11	Espigas/m ²
Norbis y Rodríguez - 1982	25	24	Espigas/m ²
Norbis y Rodríguez - 1982	25	34	Espigas/m ²
Cougn y Elgarte -1982	25	35	Espigas/m ²
Melatti - 1985	25	21	Espigas/m ²
Melatti - 1985	25	44	Espigas/m ²
Korn y Vila - 1983	0-60	17,5	Espigas/m ²
Barbé et al. -1989	25-50	15	Espigas/m ²
Hoffman - 1989	25-50	18	Esp/m ² - granos/espiga
Baethgen - 1992	25-50	22	Granos/esp.

Como se desprende de la información contenida en el cuadro anterior más del 80% de los trabajos, registran eficiencias por encima de los 15 kgs de granos/unidad de N agregado.

La información disponible para cebada, demuestra que las espigas por metro cuadrado, explican la mayor parte de las variaciones de rendimiento provocadas por el manejo (Barbé et al., 1989; Hoffman et al., 1991; Ernst et al., 1991; Hoffman et al., 1992; cit por Hoffman; Ernst; Brassetti; Espasandín, y Siri, 1992).

Puede apreciarse la relación existente entre la fertilización N y el principal componente que explica la variación del rendimiento. El mayor peso relativo de este componente, conclusión a la que se arriba en más del 80% de los trabajos publicados en el país (Ernst et al., 1991; Baethgen, 1991; cit. por Hoffman; Ernst; Brassetti; Espasandín, y Siri, 1992), se debe a que el rango de variación de este componente, está por debajo del óptimo establecido (600 esp/m²), situación contrastante con el trabajo de Baethgen, (1990), donde granos/espiga determina la respuesta a la fertilización N, explicado porque en todos los tratamientos, se alcanzó el óptimo de espigas/m².

2.3.2) Efecto del N sobre la calidad del grano:

El hecho de que el destino principal de la cebada cervecera producida en el Uruguay, sea la exportación (como grano y como malta), y que excesos de N pueden afectar negativamente la calidad industrial del producto, (Hoffman y Ernst, 1992; cit. por Perdomo; Hoffman; Pons y Pastorini, 1999); crea la necesidad de un sistema de uso de N, orientado a optimizar los resultados económicos de los agricultores, pero que al mismo tiempo, aseguren niveles aceptables de contenido de proteína en el grano (Baethgen, 1992^a).

En lo concerniente a la experiencia nacional, las referencias a calidad en los resultados, son solo consideradas por algunos trabajos y hacen referencia fundamentalmente al contenido de proteína en el grano, sin tomar en cuenta otras características deseables en una buena cebada cervecera, como: tamaño y uniformidad de grano, capacidad germinativa, etc. (Arias, 1991).

Tanto la cantidad de N como el momento en que se encuentra disponible, determina cambios en el rendimiento en grano y en el porcentaje de proteína del mismo (Ernst, 1991c). Las referencias internacionales señalan a la fertilización N como factor que tiende a incrementar el contenido de proteína en el grano (Clancy; Tillman; Pan y Ulrich, 1991).

A nivel nacional, Echevarría y Ohono (1982); Boces y Prado (1984); cit. por Barbe, Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); encuentran tendencias a aumentar el contenido de N en el grano, con la fertilización N, independientemente de la época de siembra, aunque, según Baethgen, (1992^a), pueden darse situaciones de alto contenido de proteína en el grano sin agregados de fertilizante N, lo que puede deberse a altos valores de disponibilidad de N el suelo a lo largo de todo el ciclo de crecimiento del cultivo, o al empleo de variedades que no presenten altos potenciales de rendimiento y/o de respuesta al N.

Ernst, (1991c), trabajando sobre el efecto del laboreo en la mineralización del N del suelo, concluyen que ante liberaciones tardías de N, con el potencial de rendimiento ya fijado, se puede reducir la posibilidad de dilución, y determinar incrementos en el nivel de proteína.

Baethgen, (1992^a), constata una clara asociación entre el contenido de proteína del grano, y la eficiencia con que el cultivo utiliza el fertilizante nitrogenado para producir grano, disminuyendo ese contenido con el aumento de la eficiencia de uso del fertilizante. Situaciones de respuesta por debajo de los 15 kg. de grano/unidad de N, provocan aumentos en la proteína del grano, independientemente del nivel promedio de ésta.

García, (1993b), trabajando con MN 599, corrobora lo anterior señalando que el porcentaje de proteína aumentó significativamente con el agregado de N, incremento que tendió a ser más pronunciado cuanto menos eficiente fue la utilización del N por el cultivo, para producir grano. La no concreción de los potenciales de producción y los problemas de calidad que se originan, asociados a vuelco, también lo corroboran Hughes y Charbonier, (1991b), trabajando con FNC-1, observando que por encima de los 3500 kgs/ha, el vuelco rompió el equilibrio fuente-fosa, impidiendo la concreción del potencial determinado.

Por lo tanto, si el N produce un gran aumento en el rendimiento, habrá un pequeño o ningún efecto en el porcentaje de proteína, pero si este es reducido, el incremento en proteína será grande, por lo que y según Mac Beath y Toogood, cit. por Bishop et al., (1971); cit. por Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); los aumentos del contenido proteico del grano, dependerán del incremento logrado en la producción de grano.

Esto no concordaría con los resultados obtenidos por Hughes y Charbonier, (1991b), trabajando con FNC-1 en situaciones de chacras comerciales, quienes verifican una estrecha relación entre rendimiento en grano y su contenido en proteína, correspondiéndoles a los más altos rendimientos, un incremento en la cantidad de granos pequeños, menores a 2,8 mm, que condujeron a que los mismos tuvieran problemas de calidad, situación que parece contradecir el concepto de dilución de nitrógeno (mecanismo a través del cual se determinaría el porcentaje del mismo en el grano).

En la situación del trabajo anterior, una mejora en el nivel de N-NO₃ en planta (tomado en el momento de aparición del primer macollo, F2 en escala de Feeckes), determinó un mayor número de espigas/m² y un cambio en la distribución de su tamaño (granos/espiga), lo que, según Wych et al., (1988); cit. por Baethgen, (1992^a); generalmente provoca una disminución en el tamaño de los granos, trayendo aparejado en consecuencia un aumento en el contenido de proteína en los mismos, en concordancia con lo mencionado en el párrafo anterior.

En relación al momento, Evans, (1975), señala que aplicaciones tardías de fertilizante nitrogenado, pueden provocar aumentos considerables de proteína en el grano, dado que según Van Dobben, (1966); cit. Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989), el contenido proteico, depende de la disponibilidad de N en etapas más avanzadas de la planta, cuando el valor de crecimiento es relativamente más bajo que aquel de la absorción de N. Esto sería confirmado por Baethgen, (1992^a), quién sostiene que el porcentaje de proteína del grano de cebada varía muy poco, cuando el N es eficientemente utilizado para producir grano. En cambio, en las dosis más altas, y/o en situaciones de poca respuesta en rendimiento al N, el contenido de proteína en el grano aumentó rápidamente.

Con respecto a la clasificación por tamaño de grano, Piriz y Deambrosi, (1992), trabajando con FNC 6-1, también encuentran que tanto el N al macollaje como a la siembra, la afectaron significativamente, disminuyendo el porcentaje de 1^a + 2^a con las dosis de N en los dos momentos mencionados.

También Garcia, (1993b), trabajando con 3 cultivares, Estanzuela Jacarandá y Acacia, y MN 599, constató que el incremento en los niveles de N, tendió a reducir el porcentaje de granos de 1^a e incrementar la proporción de 2^a, existiendo una disminución neta y consistente en la fracción 1^a + 2^a en los tres cultivares.

Estos resultados sugieren que la mejor manera de reducir los problemas potenciales de alto contenido de proteína en el grano, es disponer de cultivares sin limitantes de potencial de rendimiento y buena capacidad de respuesta al N, asegurando a partir de diagnósticos de requerimientos de fertilizante, que las dosis aplicadas sean eficientemente utilizadas para formar grano (Baethgen, 1992^a).

2.4) IMPORTANCIA DEL MOMENTO DE AGREGADO DE N:

Si bien, son varios los factores a tener en cuenta al decidir el fraccionamiento o no del fertilizante N, la dinámica del nutriente en el suelo y los requerimientos del cultivo a lo largo de su estación de crecimiento, aparecen como muy importantes al momento de su definición.

Dadas las características de los suelos y del régimen de lluvias en el Uruguay, donde es probable que altas dosis de N aplicado a la siembra, se pierdan por lavado y denitrificación, y dado que las mayores tasas de absorción de N coinciden con el comienzo de elongación de la caña, (Baethgen, 1992b), el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada, aparece como una estrategia menos riesgosa y más efectiva en el manejo de este insumo, pudiendo reforzar esta decisión, con el stand de plantas presentes y potencial de rendimiento del cultivo (Baethgen, 1992^a; Perdomo, 1996;).

Esto no concordaría con los resultados obtenidos por varios autores nacionales, Claassen y Rabuffetti, (1971); Norbis y Rodríguez, (1982); Cough y Legarte, (1982); cit. por Korn, y Vila, (1983); Echeverria y Ohono (1980); cit. por Perdomo, (1984); Melatti, (1984), Boces y Prado, (1984); cit. por Castro, (1997), donde el fraccionamiento no se justificó en términos de rendimiento, obteniéndose valores similares a los logrados sin fraccionamiento. Esto puede ser atribuido a la época de siembra tardía y los bajos potenciales de rendimiento de las variedades empleadas, básicamente Bonita y Laura (Castro, 1997).

Baethgen, (1992^a), señala, que el 71% en 1989 y el 67% en 1990 de las mejores DEON (dosis económicamente óptimas), se obtuvieron con aplicaciones fraccionadas de fertilizante nitrogenado. A pesar de las condiciones climáticas imperantes en esos dos años (con pocas tormentas capaces de ocasionar pérdidas importantes de NO₃ en la zona radicular), era de esperar una eficiencia de uso del fertilizante aplicado únicamente a la siembra, bastante más alta que lo esperable en un año con condiciones climáticas promedio para Uruguay.

A partir de 1994 se inician una serie de experimentos tendientes a conocer la respuesta a N en los primeros estadios del cultivo de Cebada, especialmente en ambientes de baja capacidad de aporte inicial (siembra directa) y generar información que permita corregir la deficiencia, intentando evaluar especialmente, la importancia de distintas estrategias de refertilización nitrogenada en rendimiento y calidad del grano de cebada (Hoffman; Siri y Ernst, 1996).

Se observó que el uso de N en etapas previas a Z-30 (inicio de encañado), incrementa el potencial promedio de rendimiento, especialmente en Z-22 (inicio de macollaje). Cuando el agregado se realizó en un estadio más cercano a Z-30, no solo se obtuvo un rendimiento potencial mayor, sino que también el contenido de N en planta a Z-30 fue mayor a 3,7%, determinando ausencia de respuesta al N en este estadio, (valores superiores al 4% en planta a Z-30, serían suficientes para obtener más del 90% del rendimiento máximo para

cada ambiente), (Baethgen, 1992^a). Estos resultados son coincidentes con lo observado por Sharf et al., (1993); citado por Hoffman; Siri y Ernst, (1996); en la medida que no se espera respuesta al N cuando se supera el nivel crítico establecido por Baethgen, (1992^a), independientemente del potencial determinado.

Baethgen, (1992^a), encontró respuesta importante al agregado de N en Z-30, cuando existe un alto potencial de rendimiento a concretar, generándose situaciones de elevada demanda de N durante el encañado.

La utilización de N en etapas tempranas, permite corregir las deficiencias que limitan el potencial y, en Z-30 para conservarlo, siendo necesario manejar rangos críticos de niveles de disponibilidad de N en el suelo, tanto a la siembra como en Z-22, ajustando la fertilización en función de ellos (Hoffman; Siri y Ernst, 1996).

El agregado de N en situaciones que están por encima de los rangos de respuesta, estarían creando condiciones predisponentes para el ataque de enfermedades foliares, e incrementos en los niveles de vuelco, determinando pérdidas de potencial y/o calidad industrial (Hoffman; Perdomo y Ernst, 1997).

Gravelle et al., (1988); Jordan et al., (1989); cit. por Bulman y Smith, (1993); también mencionan el fraccionamiento del N, especialmente cuando se emplean altas dosis, con el fin de prevenir enfermedades foliares y mejorar la respuesta del cultivo al N.

En relación a los momentos óptimos de refertilización y trabajando con trigo de invierno, Alley; Scharf; Brann; Baethgen y Hammons, (1996), en Virginia, toman el n° de macollos a Z.25, para determinar si es o no necesario refertilizar con N, indicando que por debajo de 500 macollos/m² en ese momento, hay que agregar N para alcanzar un potencial de rendimiento razonable, siendo la dosis, función del contenido de N-N03 en el suelo en ese momento, y de 1000 macollos/m² el número necesario para no refertilizar.

Si el número de macollos en ese estadio fuera adecuado, recomiendan hacer una sola aplicación a Z-30 complementada con datos basados en análisis de tejido para determinar contenido de N. Esto sería beneficioso, no solo porque reduce la chance de pérdidas de N por lavado, sino porque aplicaciones tempranas, pueden resultar en un excesivo número de macollos finos e incrementar la probabilidad de enfermedades. Señalan que en muchos casos, una sola aplicación a Z-30 es económicamente superior a una sola en Z-25 cuando el número de macollos se encuentra entre 750 y 950 (Alley; Scharf; Brann; Baethgen y Hammons, 1996).

2.5) INDICADORES DE RESPUESTA AL NITROGENO:

La fertilización nitrogenada de cultivos de invierno en el Uruguay, pese a muchos años de investigación en el tema, continúa basándose, en el mejor de los casos, en estimaciones subjetivas del efecto de la interacción de: cultivo anterior, suelo y clima como determinantes del suministro de N por el suelo, así como en estimaciones del potencial de

rendimiento de los cultivos, como valor indirecto del N requerido por el cultivo, (Perdomo, 1996). El único indicador de disponibilidad de N que ha sido utilizado en forma generalizada, es el contenido de materia orgánica del suelo (Perdomo, 1996).

Para ajustar correctamente este nutriente, deberíamos saber en primer lugar, cuanto existe en el suelo en un determinado momento, y los requerimientos del cultivo a la siembra (por la importancia cualitativa del N en esta etapa), y en las etapas en que la eficiencia de uso del N esperada es máxima, disponiendo para ello, de información que permita su interpretación objetiva (Baethgen, 1992b).

En el Uruguay, existen dificultades en la práctica, para conocer el valor de estos parámetros, lo que ha impedido contar con un sistema ampliamente aceptado y validado para la recomendación de N en cultivos de invierno (Perdomo, 1996).

La información nacional e internacional disponible hasta 1996, acerca de los sistemas de ajuste de la fertilización nitrogenada, denota que se han priorizado las metodologías basadas en Análisis de suelos, para poder cuantificar la capacidad de suministro de N por los mismos, y medir su disponibilidad en determinados momentos, para establecer niveles críticos, por debajo o encima de los cuales se encuentren las situaciones de insuficiencia o suficiencia de este nutriente.

Actualmente, existen principalmente dos tipos de análisis de suelo tendientes a determinar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. El primero de ellos, mide el nitrógeno mineral contenido en el perfil del suelo (NO_3 , NH_4), mientras que un segundo tipo (que puede ser utilizado como complementario del primero), intenta estimar la cantidad de N potencialmente mineralizable (Potencial de mineralización de N). Esta estimación, se podría lograr a través de una amplia gama de métodos de incubación y extractantes químicos, conocidos comúnmente como índices de disponibilidad de nitrógeno (Carriquiry, 1998).

Se ha intentado por largo tiempo, encontrar índices seguros, químicos o biológicos de la disponibilidad de N del suelo, que permitan a su vez, mejorar las recomendaciones de fertilización N (Keeney, 1982; Meisinger, 1984; Stanford, 1982).

Estos índices pueden ser agrupados en cuatro categorías:

- 1) Medidas de la capacidad de suministro de N por el suelo, a través del contenido de materia orgánica
- 2) Medidas del N inorgánico (NO_3 - NH_4)
- 3) Incubaciones biológicas, que miden el N mineralizado durante determinado tiempo (aeróbicas y anaeróbicas)

FACULTAD DE AGRICULTURA



SERVICIO DE
DOCUMENTACIÓN
BIBLIOTECA

- 4) Medidas del N liberado desde la materia orgánica, por tratamientos químicos del suelo (digestión con KCL, destilación mediante fosfato-borato y absorbancia UV a 200 nanómetros)

En segundo lugar, se sitúan las metodologías basadas en los requerimientos de N por el cultivo, que determinan el contenido de N en planta en diferentes etapas del cultivo, a través de medidas directas e indirectas.

Dentro de estas, se encuentran:

A) Métodos basados en medidas directas del N en planta -

- 1) contenido de N total a Z-22 y Z-30
- 2) contenido de N₀₃ en la base del tallo a Z-22 y Z-30 y
- 3) absorción de N en Kg N/ha por el cultivo a Z-22 y Z-30

A) Métodos basados en medidas indirectas del N en planta -

- 1) Contenido de clorofila en hoja en diferentes estadios del ciclo del cultivo

2.6) INDICADORES Y/O METODOS QUE EVALUAN CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE N POR EL SUELO:

2.6.1) Uso del contenido de materia orgánica del suelo (antecedentes nacionales):

A nivel nacional, la Guía de fertilización de cultivos (Oudri et al., 1976), constituye uno de los primeros intentos por racionalizar el uso de N, en donde si bien es cierto, la recomendación de fertilización N está basada en tipo de suelo, historia de la chacra y cultivo antecesor, aparece también y como indicador cuantitativo dentro del modelo, el contenido de materia orgánica del suelo (MOS).

En la guía mencionada, mediante el valor obtenido de materia orgánica, el tipo de suelo y manejo anterior de cada chacra, se le asignaba un índice de 0 a 2, mediante el cual se ingresaba al cuadro de recomendación del cultivo de interés. Con este valor y tomando en cuenta el cultivo antecesor, se sugería la cantidad de fertilizante N a ser agregado.

Capurro et al., (1982), lograron desarrollar un sistema para recomendación de fertilización nitrogenada en cebada cervecera, que considera el contenido de MOS a la siembra, como indicador de potencialidad de suministro de N, y de nitratos como indicador de disponibilidad inmediata, que se desarrolla a continuación.

2.6.2) Medidas del N inorgánico (N-NO₃ - N-NH₄):

2.6.2.1) Uso del contenido del contenido de N-NO₃ del suelo:

2.6.2.1.1) Información nacional:

Este indicador presenta como principales ventajas, su sensibilidad al manejo anterior del suelo y su capacidad de predecir sitios de respuesta y no respuesta (Moron, y Sawchik, 1998).

La información nacional existente en cuanto al uso de la disponibilidad de NO₃ a la siembra en cebada cervecera, como indicador cuantitativo, y su relación con la respuesta a este nutriente hasta mediados de la década del 90, es muy poca.

La misma, señala a Capurro; Baethgen; Trujillo y Bozzano, (1982), como los primeros en establecer niveles críticos de N-NO₃ en el suelo, los que variaron entre 6 y 20 ppm, según el nivel de MOS (%). Estos autores, con el objetivo de mejorar las situaciones anteriores, en un trabajo conjunto entre el Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (CIAAB) y Fábricas Nacionales de Cerveza, desarrollan un modelo de ajuste de la fertilización N a la siembra, en donde la respuesta al agregado de N, se basa en estimaciones analíticas objetivas: el nivel de NO₃- en el suelo (0-20 cm), para tres niveles de MOS a la siembra, entre 2% y 4,5%.

A través de la consideración simultánea de los valores que se obtienen de ambos indicadores, según las diferentes situaciones encontradas, se establecen las Dosis económicamente óptimas (DEO) de N (dosis que maximizan el ingreso, descontando el costo del fertilizante) a agregar, habiendo logrado los autores y para condiciones de ausencia de ataque de manchas foliares, estimaciones muy precisas de las DEON - r²= 0,91 - (Castro, 1997).

A pesar de esto, el modelo recomienda no aplicar N en situaciones con contenidos de MOS superiores a 4.6% y de NO₃ superiores a 3 ppm, lo que no se ajustaría a las situaciones de producción más frecuentes actualmente en el área agrícola, mejoradas notoriamente a través de rotación con pasturas, y un mejor manejo general del cultivo (Baethgen, 1992^a).

Otro aspecto problemático del mismo, lo constituye, la recomendación de aplicar todo el fertilizante N a la siembra, no considerando además el manejo fraccionado del mismo y el efecto de esta medida de manejo en el contenido de N en el grano (Castro, 1997).

En el 85% de los experimentos realizados por Capurro et al., (1982), con respuesta al N, la Cebada experimentó aumentos en rendimientos, por encima de 500 kgs/ha, en tanto que, la obtención de importantes beneficios económicos mediante la aplicación de N, se

logró en el 92% del total de experimentos, variando la dosis económica, entre 33 y 105 kgs de N/ha con un promedio de 73 kgs. (Castro, 1997).

Finalmente, corresponde mencionar, que los dos modelos anteriores: la Guía de fertilización de cultivos de Oudri et al., (1976), y el implementado por Capurro et al., (1982), no fueron adoptados a nivel Nacional, corroboración efectuada por Guido y Iedukow, (1989), en un relevamiento de trigo hecho en 1989 sobre 25.000 has., observando una uniformidad de dosis a la siembra independientemente de las diferentes condiciones de suministro de N del suelo.

2.6.2.1.2) Información internacional:

Los trabajos internacionales revisados, la mayoría de ellos efectuados sobre cultivos de maíz, toman fundamentalmente la disponibilidad del N mineral presente en el suelo bajo sus dos formas principales, NO₃ y NH₄ como indicadores del aporte de N por el mismo extrayendo para ello, muestras a diferentes profundidades de muestreo y en distintos momentos del ciclo del cultivo.

Durante 1986 a 1988 en Pennsylvania, Fox y Piekielek, (1990), trabajando con maíz, encuentran que la concentración de N-NO₃ en los primeros 20 cm de suelo a la siembra, estaban moderadamente bien correlacionadas con la capacidad de suministro de N por el suelo ($r=0.750$), medida a través del contenido total de N en el grano en las parcelas testigo, menos el 75% del fertilizante nitrogenado agregado como starter.

En trabajos posteriores, realizados durante 1993 también en Pennsylvania, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993), las correlaciones obtenidas entre N-NO₃ a la siembra 0-20 y la capacidad de suministro de N de los suelos, fueron muy bajas, del orden de 0.36, siendo el nivel crítico encontrado en este trabajo NC = 13 ppm, resultando que en muchos casos (10%), donde el test predijo no existiría respuesta al agregado de N, la respuesta realmente ocurrió.

Existen un sinnúmero de trabajos a nivel internacional que miden la concentración de nitratos en el suelo como indicador de respuesta al agregado de N, pero lo hacen cinco semanas después de la emergencia del cultivo de maíz, con una altura promedio de plantas de 30 cm, método propuesto por Magdoff et al., (1984).

En varios de ellos, mediante la relación entre los valores de nitratos encontrados y el rendimiento relativo, fue posible establecer niveles críticos que separan sitios con deficiencia de N, de aquellos con N suficiente, y los mismos se encuentran entre 18 y 19 ppm de N-NO₃ (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993), y 23 a 26 ppm (Binford; Blackmer y Cerrato, 1992).

Corresponde aclarar que en la mayoría de estos trabajos, el rendimiento relativo, empleado para establecer los niveles críticos detallados en el párrafo anterior mediante la

metodología de Cate y Nelson, (1965), está expresado como porcentaje del rendimiento máximo, determinado por regresión cuadrática y plateau.

2.6.2.2) Uso del N-NH₄ como indicador:

Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, (1995), tratando de mejorar la predicción del método mencionado en párrafos anteriores, (PSNT), difirieron la fecha de muestreo (con mayor altura de plantas), muestreando a mayor profundidad y tomando NH₄ como indicador del aporte de N por el suelo, no encontrando una mejora en la predicción del mismo que justifique los costos y el tiempo requerido para hacerlo.

Incluso tomando N₀₃ + NH₄ juntos y llevando el NC = 25 ppm no se logró mejorar la predicción entre los sitios con respuesta y los de no respuesta, en relación a tomar N-N₀₃ solo. Finalmente, cabe indicar que el PSNT identificó suficiencia o deficiencia de N en el 70% de los casos. Fox et al., (1992); Magdoff et al., (1990); cit. por Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, (1995); reportan un éxito promedio de 83% y 89% mediante el uso de éste método en maíz, en el Noreste de E.U.A. y comprobada su eficacia también en otras regiones por Meisinger et al., (1992).

Hong et al., (1990); cit. por Borghi y Wornicov, (1998); evaluó la concentración de N-NH₄ en el suelo a 0-20 cm, como indicador del status nitrogenado a la siembra de maíz, encontrando que si bien este índice, se correlacionó bien con N-NO₃ en suelo y diferentes mediciones con espectrofotómetro (UV), manifestó una pobre correlación con la capacidad de aporte de N del suelo, determinada a través del contenido total de N en el grano, descontando un 75% asumido como factor de eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado agregado (Fox y Piekielek, 1978).

2.6.3) Métodos de Incubación:

Si bien, la concentración de N-N₀₃ en el suelo, nos informa acerca de la cantidad absoluta de N en la forma de N₀₃, disponible para el cultivo en un momento dado, este valor es indirectamente un indicador de la capacidad de aporte de N del suelo si, en las semanas previas a su determinación, no existieron condiciones climáticas que permitan preveer pérdidas importantes de los mismos. Concretamente, suelos con alta capacidad de aporte de N, pueden transitoriamente presentar valores de concentración de nitratos bajos, producto de la existencia de importantes procesos de pérdidas previas al análisis de suelo, (Moron y Sawchik, 1998).

Sería deseable entonces, contar con una herramienta complementaria, que ayude a levantar las restricciones planteadas. Una de estas herramientas puede ser, la utilización del potencial de mineralización de nitrógeno, que permita: a) fortalecer el uso del indicador N-N₀₃ y b) programar áreas de siembra que minimicen los riesgos, conociendo las regiones y/o chacras de mayores potenciales de aporte de N mineral y por tanto, de mayor probabilidad de altos porcentajes de proteína en grano, (Moron y Sawchik, 1998).

La utilidad del uso del potencial de mineralización como medida complementaria de la cantidad de N mineral que tiene un suelo, fue también sugerida por Stanford, (1982) y Meisinger, (1984), existiendo coincidencia en que la estimación del potencial de mineralización de N de los suelos, debería utilizarse como complementario y no como sustitutivo del análisis de NO₃.

Si bien, el contenido de NH₄ en el suelo, generalmente es despreciable, en condiciones de excesiva humedad y frío, puede acumularse (García, 1994), y nitrificarse posteriormente durante fin de invierno principios de primavera, de presentarse condiciones cálidas en esos momentos. En consecuencia, en esa época, que coincide generalmente con el momento de mayor absorción de N por parte del cultivo de cebada, tendremos una alta disponibilidad de NO₃, que conduzcan a tener altos % de proteína en grano.

Los métodos biológicos de laboratorio, miden la cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable, siendo la mayoría de las incubaciones biológicas, conducidas bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura (Rice y Havlin, 1994). También y según los mismos autores, estos índices biológicos pueden dividirse en: incubaciones de corto plazo, incubaciones de largo plazo y técnicas de invernáculo, incluyendo los métodos de corto plazo, algunas variaciones de incubaciones aeróbicas y anaeróbicas.

Según Goh y Haynes (1986), las incubaciones de corto plazo son aquellas realizadas por períodos de entre 1 y 6 semanas, en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

Corresponde mencionar, que según Keeney, (1982), para que un índice de laboratorio sea un indicador válido de la disponibilidad de N, el mismo debe reunir las siguientes características: ser simple, rápido, reproducible y no debería ser afectado por el pretratamiento de las muestras. Stanford, (1982) y Keeney, (1982), concluyen luego de efectuada una revisión bibliográfica sobre el tema, que las incubaciones biológicas de largo plazo fueron las más indicadas, pero resultan impracticables como rutinas de laboratorio y que si bien es cierto, las incubaciones de corto plazo (anaeróbicas), fueron aceptables, las mismas se vieron afectadas por la toma y el pretratamiento de las muestras.

2.6.3.1) Incubación anaeróbica:

Keeney, (1982), recomienda la utilización de un procedimiento de incubación anaeróbica (7 días a 40° C), como índice Biológico de la disponibilidad de N, técnica inicialmente propuesta por Waring y Bremner, (1964); cit. por Bundy y Meisinger, (1994).

Se trata de un método simple, de fácil adaptación a la rutina de un laboratorio, que requiere un breve período de incubación de las muestras, no necesitando de equipamiento muy sofisticado y que demostró predecir en forma correcta la disponibilidad de N de un suelo, aunque Fox y Piekielek, (1984), citan correlaciones pobres entre el N-NH₄ producido por esta metodología y la disponibilidad de N medida a campo.

A nivel nacional, esta metodología propuesta fue empleada por Moron y Sawchik, (1998), determinando los potenciales de mineralización de 21 sitios del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) "La Estanzuela", (tratamientos experimentales y chacras en producción), a través de una incubación anaeróbica durante 7 días a 40° C.

A partir de los resultados obtenidos, Moron y Sawchik, (1998), concluyen que:

- ✓ este método fue el que presentó la mayor asociación con la historia de manejo anterior de los suelos de La Estanzuela
- ✓ también presentó un interesante rango de variación (10,9 a 75,6 ppm de N-NH₄) que les permitió establecer niveles críticos, para separar las situaciones con baja capacidad de aporte del suelo, de aquellas con alta capacidad, y que serían:

Suelos con baja capacidad de aporte de N, por debajo de 30 ppm de N-NH₄
Suelos con alta capacidad de aporte de N, por encima de 55 a 60 ppm de N-NH₄

Fox y Piekielek, (1984), utilizando el mismo índice biológico en suelos de Pennsylvania, obtuvieron valores de N-NH₄ mineralizado, en el rango de 25.1 a 86.9 mg de N-NH₄/kg, con una media de 55,5 mg de N-NH₄/kg, aunque sostienen en cambio, que el N mineralizado en condiciones de laboratorio, no estaría bien correlacionado con la disponibilidad de N a campo, al obtener pobres correlaciones ($r= 0.31$), entre el N mineralizado y la absorción de N por plantas de maíz.

Finalmente, Stanford, (1982), afirma que además del N potencialmente mineralizable, hay que medir el NO₃ residual en áreas en que el N orgánico varía apreciablemente entre suelos. Observaciones corroboradas por Meisinger, (1984), concluyen que la cuantificación de la disponibilidad de N, se debe mejorar utilizando tests de mineralización y determinaciones del N-NO₃.

2.6.4) Tratamientos químicos del suelo:

Hong; Fox y Piekielek, (1990), en la zona Central y Central-sur de Pennsylvania, evaluaron una serie de índices que se basan en la determinación del NH₄ y NH₃, como predictores de la disponibilidad de N del suelo.

Han sido numerosos los extractantes químicos evaluados como índices de la mineralización de N, así como, las variaciones de concentración, temperatura y tiempo de extracción empleados, aunque según Bundy y Meisinger, (1984), probablemente fallan, por que no pueden simular la acción de los microorganismos del suelo.

Estos autores señalan que si el objetivo es obtener una indicación relativamente rápida de la disponibilidad de N del suelo, se pueden utilizar las siguientes técnicas:

- digestión con KCL 2M a 100° C (Gianello y Bremner, 1986b),
- destilación de vapor con un buffer fosfato-borato de PH = 11.2 (Gianello y Bremner, 1988) y
- absorbancia UV a 200 nm de extractos de suelo en NaHCO₃ (Hong; Fox y Piekielek, 1990).

Estos métodos, tienen la ventaja sobre otros índices, de ser rápidos y estar bien correlacionado con la disponibilidad de N determinada a través de los métodos de incubación, (Gianello y Bremner, 1986^a; Gianello y Bremner, 1988), o medidas de campo, (Hong; Fox y Piekielek, 1990).

Aunque, si el objetivo es predecir la disponibilidad de N para realizar recomendaciones para la fertilización de cultivos, se deberían considerar otros métodos, dado que estos índices químicos, no resultan buenos predictores de la capacidad de suministro de N por el suelo, tal como se describe en la página siguiente (Bundy y Meisinger, 1994).

2.6.4.1) Método KCLA-N (Extracción de NH₄ mediante cloruro de potasio):

Este método mide el NH₄ producido por calentamiento del suelo con KCL 2M a 100° durante 4 horas, (Gianello y Bremner, 1986^a; Gianello y Bremner, 1988).

El rango de valores encontrado por Hong; Fox y Piekielek, (1990), al aplicar este método, trabajando con 49 experimentos de respuesta a la fertilización N en maíz, se situó entre 7,8 a 14,4 ppm de N-NH₄, siendo pobre la correlación entre este índice químico y medidas a campo de la capacidad de suministro de N ($r= 0.48$) determinada a través del contenido total de N en el grano, descontando un 75% asumido como factor de eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado agregado (Fox y Piekielek, 1978).

Otros autores, (Jalil; Campbell; Schoenau; Henry; Jame y Lafond, 1996), trabajando en 42 suelos en Saskatchewan, Canadá, obtuvieron valores de N-NH₄ extractado, que oscilaron entre 9,5 y 87,3, con un promedio de 20,5 mg de N/kg de suelo

2.6.4.2) Método PBBA-N (Extracción de NH₃ mediante Borato de fósforo):

Este método al igual que el anterior, fue desarrollado por Gianello y Bremner en 1986, y consiste en la determinación del NH₃ producido por destilación del vapor de las muestras de suelo, con una solución buffer de Borato de fósforo de PH= 11.2.

Los valores encontrados en este caso, por Hong; Fox y Piekielek, (1990), oscilaron entre 16,1 a 39,5 ppm de N-NH₃.

A pesar de que los dos métodos anteriores, el KCLA-N y el PBBA-N estuvieron bien correlacionados entre sí ($r= 0.803$), y también lo estuvieron ambos, con Nitrógeno total y Materia orgánica ($r= 0.617$ a 0.792), ninguno de ellos resultaron buenos predictores de la capacidad de suministro de N por el suelo, $r = 0.484$ y 0.254 respectivamente, (Hong; Fox y Piekielek, 1990), determinada a través del contenido total de N en el grano, descontando un 75% asumido como factor de eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado agregado, (Fox y Piekielek, 1978).

También, corresponde mencionar que ambos, se encuentran bien correlacionados con la cantidad de N mineralizado mediante incubaciones de laboratorio (Gianello y Bremner's, 1986^a;b; 1988), lo que sería congruente con lo concluido por Fox y Piekielek, (1984), acerca de que la disponibilidad de N a campo, no se encuentra bien correlacionada con el N mineralizado en condiciones de laboratorio.

Finalmente, Jarvis; Stockdale; Shepherd y Powlson, (1996), sostienen que ninguno de los métodos químicos propuestos o índices derivados de los mismos, han sido probado adecuadamente bajo un amplio espectro de suelos o puestos para uso general.

Keeney y Bremner, (1966); citado por Stanford, (1982); sostienen que los índices biológicos basados en incubaciones de corto plazo, serían menos significativos que los métodos químicos, dado que sus resultados son más influenciados por el método de muestreo y el pretratamiento de las muestras que los segundos.

2.6.4.3) Absorbancia ultravioleta (UV) de un extracto de NaHCO_3 a 200:

La absorbancia de ondas ultravioletas (UV) de muestras de suelo tomadas a una profundidad de 0.20 cm a la siembra, tratadas con carbonato ácido de sodio (NaHCO_3), y medidas en un espectrofotómetro a 200 nm de longitud de onda, ha sido evaluada para ser utilizada como un indicador del status de nitrógeno disponible para el cultivo. Este valor, es función del N- NO_3 y el contenido de materia orgánica de las muestras obtenidas (Fox y Piekielek, 1978^a).

Los valores de absorbancia obtenidos oscilaron entre 0.58 a 2.49 A (unidad de absorbancia), estando los mismos, altamente correlacionado ($r = 0.847$) con la concentración de NO_3 en el suelo, lo que indica que para el tipo de suelos arcillosos en donde se realizaron los ensayos, estos valores están fuertemente influenciados por el contenido de N- NO_3 del extracto, (Hong; Fox y Piekielek, 1990).

Según estos autores, éste método estuvo moderadamente bien correlacionado con la capacidad de suministro de N por el suelo ($r= 0.734$), de muestras de suelo tomadas hasta 20 cm de profundidad.

Esto es confirmado por Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, (1993), trabajando con 95 sitios en Pennsylvania E.U.A, quienes obtuvieron un coeficiente de determinación para la regresión lineal entre los valores de UV-200 y la capacidad de

suministro de nitrógeno por el suelo, de 0,48, similar a la que obtuvieron usando el método NIRS.

Los mismos autores, utilizando la metodología de Cate y Nelson, (Cate y Nelson, 1965), establecieron el nivel crítico que separa las situaciones de respuesta y de no respuesta, en 1.49 A para el caso de UV-200.

Analizando los sitios por debajo del nivel crítico, la correlación entre los valores obtenidos mediante lectura a 200 nm y el rendimiento relativo, fue muy baja ($R^2 = 0.37$), aunque este valor fue superior al de otros métodos empleados (concentración de N-NO₃ en planta, NIRS – método del infrarrojo cercano -, N-NO₃ en suelo 0-20 en 5ª semana luego de la emergencia en maíz), mejorando incluso a $R^2 = 0.43$, cuando se emplea regresión cuadrática, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993).

Por lo tanto, la absorbancia a 200 nm puede resultar un índice promisorio para predicciones de rutina de la capacidad de suministro de N por el suelo (CSN), siendo menos seguro para predecir la magnitud de la respuesta a la fertilización N.

Este test no requiere ningún tratamiento de la muestra, resultando sencillo, rápido y económico de realizar, y se presenta como una herramienta alternativa y útil, aunque requiere un espectrofotómetro de esa capacidad de medida de absorbancia, que quizás no lo tengan los laboratorios que hacen análisis de rutina, (Hong; Fox y Piekielek, 1990).

Fox y Piekielek, (1978), encontraron varios índices químicos de los ya mencionados anteriormente (KCLA-N, PBBA-N, UV-200, etc.) que se correlacionaron bien con la capacidad de suministro de N a nivel de campo, pero cuando se amplió el espectro de suelos y se realizaron períodos de evaluación más largos (4 años), ninguno de los índices se ajustó lo suficientemente bien para ser empleado como test de rutina (Fox y Piekielek, 1983; citados por Goh y Haynes, 1986); no logrando las incubaciones anaeróbicas, mejores correlaciones con los resultados de campo, que los índices químicos.

Rice y Havlin, (1994), sugieren que dada la variabilidad de los resultados obtenidos, para poder utilizar extensivamente estos índices, es necesario una calibración importante a campo, la cual debería incluir una caracterización de las propiedades de los suelos y de las condiciones ambientales, en especial, humedad y temperatura.

2.6.4.4) Método del infrarrojo cercano (NIRS):

Este es un método rápido para testear la disponibilidad de N en el suelo mediante un espectrofotómetro, (usado por varias décadas para predecir composición de granos, semillas y forrajes), al igual que el UV-200, aparece tan seguro como el PSNT (determinación de la concentración de NO₃ en el suelo en la 5ª semana post-emergencia del cultivo de maíz), para predecir la capacidad de suministro de N por el suelo, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993).

Presenta la ventaja frente a otros métodos, que no requiere nada más que un secado de la muestra tomada a 0-20 cm, pasarla por un tamiz de 2 mm y escanearla en el espectrofotómetro. Si la onda larga se ajusta a la frecuencia de vibración de los enlaces químicos presentes en la muestra – CH, OH y NH – la radiación es absorbida, difundida y medida por el detector fotométrico. Dado que la materia orgánica de los suelos, contiene este tipo de enlaces, el NIRS puede correlacionar el potencial del suelo con la capacidad de suministro de N por el mismo, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993).

Esto se mide, a través de las correlaciones existentes entre ese espectro y otros tres tests existentes para determinarlo, el PSNT, UV-200 y la concentración de N-NO₃ en planta, siendo entonces simple y de reducido costo, además de que muchos laboratorios comerciales, suelen estar equipados con instrumentos de NIRS para testear productos agrícolas, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993).

Estos autores trabajando sobre 95 ensayos de campo en Pennsylvania, encontraron que la capacidad de suministro de N por estos suelos, estaba entre 46 y 232 kg de N/ha, con una media de 133 kg de N/ha y obtuvieron una correlación lineal entre estos valores y los obtenidos a través del NIRS, de $R^2 = 0.49$, significativo al 1%, no mejorando este coeficiente mediante el uso de regresión cuadrática.

Los mismos, al analizar la relación existente entre el N estimado por el método del NIRS y el rendimiento relativo en grano de maíz (Cate y Nelson, 1965), establecieron un Nivel crítico en 140 kgN/ha, que separa situaciones de respuesta con los de no respuesta.

Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, (1993), finalmente señalan, que las correlaciones lineales entre el rendimiento relativo en grano, y los tests, NIRS, UV-200 y PSNT, para los sitios con valores por debajo de los niveles críticos establecidos para cada uno de ellos, resultaron en bajos coeficientes de determinación, correspondiéndoles el valor más alto = 0.37 al UV-200.

Debido a ello, sostienen que los mismos, probaron ser seguros para determinar la capacidad de suministro de N por el suelo, y escasamente seguros para predecir respuesta a la fertilización nitrogenada, (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Kirsten, 1993).

2.7) METODOS PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE N POR EL CULTIVO :

Anteriormente se marcaron las limitaciones en el uso del porcentaje de MOS como indicador de la disponibilidad de N para un cultivo, y se ha mencionado que el contenido de NO₃ en el suelo en un momento dado, puede variar considerablemente en un período corto de tiempo, dada la extrema movilidad de los mismos en el agua del suelo.

Tampoco los demás métodos reseñados, uso del NH₄, NH₄ + NO₃ juntos, el potencial de mineralización de N mediante incubaciones biológicas y tratamientos químicos

del suelo, logran mejorar la predicción de la capacidad de aporte de N por el suelo y la respuesta a la fertilización N, mediante el uso del NO₃ tomado solamente, sugiriéndose el empleo de algunos como complementarios y no sustitutivos del mismo.

Por lo tanto, otra posibilidad para desarrollar sistemas de recomendación de fertilización N, lo constituye el uso de Análisis de planta.

2.7.1) Métodos basados en medidas directas del N en planta:

En el marco del Proyecto FAO-PNUD URU/88/001, se instaló en Uruguay una red de experimentos de fertilización nitrogenada de cebada cervecera, para desarrollar un sistema de recomendación de fertilizante N para obtener rendimientos económicamente óptimos y de buena calidad industrial, (Baethgen, 1992a).

Se realizaron muestreos de plantas para identificar posibles diagnósticos de la disponibilidad de N para el cultivo, midiendo:

- a) contenido de N total a Z-22 y Z-30
- b) contenido de NO₃ en la base del tallo a Z-22 y Z-30 y
- c) absorción de N en Kg N/ha por el cultivo a Z-22 y Z-30

La concentración de N en las plantas, se determinó por el método de Kjeldhal (Keeney y Nelson, 1982), utilizándose un destilador-titulador automático (Tecator), en tanto que la concentración de NO₃ en la base del tallo, se determinó por potenciometría (Novozamsky et al., 1983; cit. por Baethgen, 1992a).

Con estos resultados se intentó definir niveles de suficiencia de N a Z-22 y Z-30, que permitan identificar situaciones por encima de los cuales no se espera respuesta al agregado de más fertilizante (Baethgen, 1992a).

Todos los posibles diagnósticos a Z-22, presentaron un comportamiento muy pobre para la definición de niveles de suficiencia. Tal como era de esperar, las condiciones climáticas y de suelos del Uruguay, hacen que esta etapa, sea demasiado temprana como para poder utilizarse con este fin (Baethgen, 1992a).

A Z-30 en cambio, dos de ellos presentaron un comportamiento aceptable, el contenido de N total en planta y la absorción de N por el cultivo, los cuales, se relacionaron con el rendimiento relativo, permitiendo establecer niveles críticos para cada uno de ellos, en aproximadamente 30 g N/Kg de M.S. o 3% de N, y de 90 kg/ha de N absorbido respectivamente (Baethgen, 1992a).

En tanto que el único diagnóstico que no presentó un comportamiento satisfactorio para la definición de niveles de suficiencia, fue la concentración de NO₃ en la base del tallo. Una de las posibles razones, puede radicar en la hora del día en que se llevó a

cabo el muestreo de plantas para dicho análisis, efectuado en horas de la tarde de un día de alta luminosidad (Baethgen, 1992a).

Según Wright y Davidson, (1964); cit. por Baethgen, (1992a); en días de gran luminosidad, en donde la fotosíntesis es activa y se producen muchos esqueletos carbonados, la demanda de las hojas por N, aumenta con las horas de sol, por lo tanto es de esperar que luego de varias horas de fotosíntesis activa (tal como sucedió en el día del muestreo), la concentración de NO_3 en la base del tallo sea inferior a la que se puede encontrar en igual situación pero en las primeras horas de la mañana.

Blackmer; Morris y Binford, (1992), proponen para maíz, un rango óptimo de 0.7 a 2.0 g $\text{N-NO}_3/\text{kg}$, indicando que valores de nitrato en tallo por encima de 2.0 gramos, se asocian a sitios sin respuesta a la fertilización N. Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, (1995), obtienen rangos similares a estos.

Ahora bien, ningún índice de diagnóstico considerado en forma individual o en conjunto con otros, presentó un comportamiento aceptable como predictor de las DEONs (dosis económicamente óptima de N), por lo tanto, se definió una nueva variable = RENPOT (rendimiento potencial).

La misma, es el promedio de los rendimientos obtenidos en las diferentes curvas de respuesta de cada experimento, identificándose cuatro niveles para situaciones de chacra: 1) <1500 kgs; 2) <1500-2500>; 3) <2500-3500> y 4) >3500 kgs, explicando esta nueva variable, más del 50% de la variabilidad obtenida en las DEONs, marcando que los requerimientos de fertilizante N para alcanzar rendimientos óptimos, son altamente dependientes del nivel de rendimiento que se puede obtener en una situación dada (Baethgen, 1992a).

Por lo tanto, la respuesta esperable al N en Z-30, utilizando el contenido de éste en planta, como criterio de determinación, aparece condicionada por el potencial de producción determinado hasta ese momento, pudiendo un bajo nivel de N en planta, ser suficiente, en la medida que el cultivo haya concretado también un bajo potencial de rendimiento (Castro, 1997).

Baethgen, (1992a), muestra que existen niveles de N en planta frente a los cuales, se esperaría baja o nula respuesta, independientemente del potencial definido a Z-30, encontrándose que por encima del 4% de N en planta en esa etapa, son suficientes para obtener más del 90% del rendimiento máximo para cada ambiente, dado que el estado nutricional posterior, solo afecta el % del rendimiento potencial que se concreta, lo que es absolutamente coherente con este modelo presentado (Castro, 1997). Esto es corroborado por Garcia, (1993), trabajando con Estanzuela Quebracho, observando que a medida que aumentó la concentración interna de N en las plantas a fin del macollaje, disminuyó la respuesta a la fertilización, citando que por encima de 4% de N, prácticamente no fue económica la fertilización al inicio del encañado.

Cabe indicar que la absorción de N por el cultivo a Z-30 y su NC de 90 kgs/ha de N, permite solamente identificar situaciones de no respuesta, no contándose con información disponible que permita ajustar una dosis, cuando se estudian situaciones por debajo de los 90 kgs de N absorbido (Hoffman y Ernst, 1996).

Soper, Racz y Fehr, (1971), relacionando el N absorbido por el cultivo a la cosecha, con el rendimiento en grano, obtuvieron una relación exponencial con un $r^2=0.86^{**}$, que indicaba que a medida que la cantidad de N absorbido por la planta era mayor, se incrementaba también el rendimiento en grano, observando que se pueden obtener altos rendimientos mediante utilización de altas cantidades de fertilizante N hasta 200 kgs/ha.

Existirían situaciones como las encontradas por Hoffman y Ernst, (1996), trabajando con variedades de diferente potencial, en donde uno de los indicadores con comportamiento aceptable, como el % de N en planta a Z-30, funcionó muy bien como predictor de respuesta para una de las variedades empleadas (MN 599), no sucediendo lo mismo con los Kgs/ha de N absorbido, sucediendo exactamente lo contrario, con la otra variedad utilizada (Estanzuela Quebracho).

Diferentes autores trabajando con trigo y cebada, establecieron niveles críticos de N en planta en g/kg de materia seca, que se encuentran entre 38.0 y 41.0, por encima del cual, cesó la respuesta al agregado de este nutriente (Baethgen y Alley, EEUU, 1989; Roth et al., EEUU, 1989; Baethgen, ROU, 1992; García, ROU, 1993).

El grado de consistencia de la información, a pesar de corresponder a distintos ambientes y cultivos, lleva a que este valor tenga suficiente fortaleza como predictor de situaciones de respuesta, lo cual lleva a manejarlo como valor crítico por encima del cual no habría respuesta al agregado de N (Baethgen, 1992; García, 1993; Scharf et al., 1993; Hoffman et al., 1994 s/p; cit. por Hoffman, y Ernst, 1996).

Una posible limitación de un sistema de este tipo en Uruguay, consistiría en el poco tiempo que debe transcurrir entre el momento del muestreo de plantas, y la obtención del resultado del análisis para realizar la recomendación (Baethgen, 1992^a).

2.7.2) Métodos basados en medidas indirectas del N en planta:

Un test que permite indirectamente conocer el status nitrogenado de la planta de cebada, y que es similar a la determinación del % de N en planta, lo constituye el nivel de Clorofila en hoja, basado en el uso de lectores portátiles. El principio de funcionamiento es que a mayores niveles de N en planta, mayores también serán los niveles de clorofila en la misma (Perdomo, 1996; Schepers et al., 1992; cit. por Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, 1995).

Dentro del Programa de mejoramiento de Maíz llevado a cabo en E.U.A por Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, (1995), mencionado en párrafos anteriores, se evaluó la lectura de clorofila en hoja en 2 estadios del ciclo del cultivo, uno temprano con

la 5ª hoja bien desarrollada y otro más tardío durante la espigazón, con el fin de obtener métodos más rápidos y alternativos al PSNT mencionado y que además puedan ser efectuados a campo.

De esta manera, las diferentes medidas de clorofila obtenidas empleando un medidor de clorofila Minolta SPAD 502, se relacionaron con el rendimiento relativo, estableciéndose un nivel crítico de 48, que separa situaciones de deficiencia con aquellas de suficiencia de N. Este, es similar al de 45, obtenido por Piekielek y Fox, (1992).

Finalmente, las correlaciones encontradas entre las diferentes lecturas y el contenido de N (%) en planta, fueron altas, del orden de 0.94 a 0.96, particularmente cuando se hacían con el maíz espigado (Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, 1995)

La ventaja de este método, radicaría en que su lectura es prácticamente instantánea a nivel de campo, siendo una desventaja del mismo, la diferencia de color existente entre variedades y la no existencia de información suficiente en nuestro País que permita recomendar o no el uso generalizado de esta metodología (Perdomo, 1996).

Durante el año 1995 en una validación a campo del modelo de Baethgen, (1992^a), a cargo de las Cátedras de Fertilidad de suelos y de Cereales y cultivos industriales de la Facultad de Agronomía (Uruguay), concluyen que el nivel de clorofila en hoja fue un pobre predictor del nivel de respuesta, debido a las diferencias marcadas de color entre variedades, concordantemente con lo expresado en el párrafo anterior, citando también que las condiciones ambientales de estrés hídricos y térmicos, pueden enmascarar la relación entre índice de clorofila y contenido de N en planta.

Esto es reafirmado por Sims; Vasilas; Gartley; Milliken y Green, (1995), sosteniendo que a pesar de los alentadores resultados obtenidos con los valores de clorofila en hoja, se necesitan muchos datos para determinar los factores de suelo, planta y enfermedades, que afectan la exactitud de la predicción de estos valores, antes de arribar a conclusiones definitivas.

Finalmente, información de otros países, muestra que muchas veces existe una alta correlación entre algunos de estos indicadores mencionados, como por ejemplo, entre % de N en hoja, contenido de clorofila en hoja y concentración de N-N03 en el suelo, por lo que, la decisión de que índice de diagnóstico usar, podría estar determinada no solo en función del poder predictivo, sino también, atendiendo a la relativa facilidad de implementación del método en condiciones de producción, señalando además que estos distintos métodos, no son excluyentes entre sí, sino que algunos pueden ser usados simultáneamente, lo que eventualmente reforzaría la confianza del usuario en sus predicciones (Perdomo, 1996).

Para las condiciones actuales del Uruguay, la implementación de cualquiera de estos esquemas de diagnóstico que demuestren buena capacidad predictiva en nuestros sistemas de producción, supondría un avance sobre la práctica de aplicaciones de dosis nitrogenadas

uniformes para situaciones diferentes, basadas en estimaciones subjetivas sin ninguna medida real (Perdomo, 1996).

3) MATERIALES Y METODOS

3.1) DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES:

Los ensayos fueron realizados durante 1996, en la zona de mayor producción de cebada cervecera del país (Departamentos del Litoral-Oeste, Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia). Fueron instalados en chacras comerciales, las cuales se seleccionaron de acuerdo a los tipos de suelo, de rastrojo, historia de chacra y sistemas de laboreo, para lograr la variabilidad necesaria.

En el cuadro 2 se describen estas características, para la totalidad de los sitios donde se desarrollaron los ensayos.

Cuadro 2: Descripción de los diferentes sitios.

Sitio	Clasific. textural (*)	Hist.ch.	Rastrojo	Tip Rast (**)	Sist. Lab
96001	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional
96002	Liviano	Nueva	pradera	Fácil	Convencional
96003	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional
96005	Pesado	Vieja	cebada	Fácil	Convencional
96007	Pesado	Vieja	avena	Fácil	Convencional
96008	Pesado	Vieja	maíz	Difícil	Siem. Directa
96009	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa
96010	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa
96011	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional
96012	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional
96014	Pesado	Vieja	girasol	Fácil	Convencional
96015	Pesado	Vieja	girasol	Fácil	Convencional
96016	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Convencional
96017	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa
96018	Pesado	Vieja	cebada	Fácil	Convencional
96019	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional
96020	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa
96021	Liviano	Vieja	maíz	Difícil	Convencional
96101	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Siem. Directa
96102	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional
96103	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa
96104	Liviano	Nueva	campo nat.	Fácil	Convencional
96105	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Convencional
96106	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional
96108	Liviano	Nueva	campo nat.	Fácil	Convencional
96109	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Siem. Directa
96110	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional
96111	Liviano	Nueva	pradera	Fácil	Convencional
96112	Pesado	Vieja	maíz	Difícil	Convencional

(**) Clasificación de acuerdo a velocidad estimada de mineralización

(*) Medida subjetiva efectuada por quién instaló el sitio

Notas: Chacra nueva – menos de 4 años sin cultivos previos
Chacra vieja – últimos 4 años con cultivos previos
Rastrojo fácil – girasol, soja, pradera
Rastrojo difícil – sorgo, maíz, gramilla, campo natural

3.2) DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela mayor fue la dosis de N a la siembra y la menor, la dosis de N a Z-22. El nitrógeno fue aplicado como Urea, siendo el tamaño de parcela chica, de 3 por 9 metros.

3.2.1) Tratamientos

Los tratamientos aplicados, son nueve: 0/0; 0/30; 0/60; 30/0; 30/30; 30/60; 60/0; 60/30 y 90/0 (unidades de Nitrógeno):

3.3) DETERMINACIONES

Las determinaciones realizadas fueron:

- A la siembra en suelo - nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) a la profundidad de 0-20 cm, materia orgánica (MOS), potencial de mineralización de NH_4^+ .
- A Z-22 - nitratos (NO_3^-) a 0-20 cm
- En espigazón, el número de espigas/m² (solo para sitios del Norte)
- A cosecha, rendimiento final y porcentaje de proteína en grano

3.3.1) Nitrato en suelo

El NO_3^- se determinó por colorimetría (método de Griess-Ilovsay), previa reducción a NO_2^- utilizando una columna reductora de Cd. (Bundy y Meisinger, 1994).

3.3.2) Amonio en suelo

El NH_4^+ se determinó por colorimetría a través del método de azul de indofenol (Bundy y Meisinger, 1994)

3.3.3) Materia orgánica del suelo

La materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley Black, cit. por Nelson y Sommers, (1996).

El valor de carbono orgánico obtenido, se multiplicó por 1,725 para estimar el valor de materia orgánica.

3.3.4) Potencial de mineralización de NH₄⁺

La capacidad o Potencial de mineralización anaeróbica de N, se determinó en muestras perturbadas, incubando el suelo a 40 °C con determinación de NH₄⁺ inicial y final Bundy y Meisinger,(1994).

3.4) ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño estadístico utilizado fue bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron dosis de Nitrogeno agregadas en dos momentos del cultivo: en la siembra y en el estado Z22.

Los tratamientos consistieron en 4 dosis de N a la siembra (0, 30, 60 y 90 unidades), y 3 dosis (0, 30 y 60 unidades) de N como Urea, a Z-22 (inicio de macollaje).

El modelo de análisis para cada variable empleado fue:

$$y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} es la observación de una variable correspondiente al i-ésimo bloque y al j-ésimo tratamiento

μ es el efecto de la media general del experimento

β es el efecto del bloque siendo $i= 1, 3$

τ es el efecto del tratamiento empleado siendo $j= 1, 9$

ε es el efecto del error

3.4.1) Ecuaciones:

Dentro del ANOVA y a la siembra, se ajustaron polinomios para medir la tendencia lineal y cuadrática, de los efectos de los tratamientos (ver Anexo).

A Z-22 (inicio de macollaje), se ajustaron ecuaciones de regresión lineal simple y cuadrática, para los promedios de los rendimientos y los agregados de N en este estadio, reportándose el modelo de mejor ajuste (ver Anexo).

3.4.2) Cálculo de los rendimientos relativos:

Para estandarizar las diferencias en rendimiento entre diferentes situaciones de los cultivos, se calculo la variable Rendimiento Relativo (RR) por sitio. De esa forma cada

experimento completo quedo representado por un valor de RR para su estudio en un análisis general.

Se utiliza la ecuación de mejor ajuste obtenida en 3.4.1, para calcular la dosis máxima de N y el rendimiento teórico asociado a dicha dosis. Este rendimiento máximo estimado, se utiliza para el cálculo del rendimiento relativo.

$$RR\% = (\text{Rend. dosis cero estimado} / \text{Rend Máx. estimado}) * 100$$

En caso de no existir ajuste a una función lineal o cuadrática en un sitio, el RR fue calculado utilizando el promedio del rendimiento en el sitio como valor calculado:

$$RR\% = (\text{Rend. Promedio Real de todas las dosis de N} / \text{Rend Máx. Real}) * 100$$

3.4.3) Modelo de Cate-Nelson:

Se ajustó el modelo de *Cate-Nelson* (Cate y Nelson, 1965)) para los rendimientos relativos con respecto a los indicadores de interés : N-NO₃, N-NH₄, N mineral total, M.O.S. y Potencial de mineralización de N.

Para el ajuste del modelo se utilizo un rendimiento relativo máximo de 92 %.

3.4.4) Software utilizado:

El procesamiento de datos fue realizado utilizando el aplicativo SAS (1996).

El cálculo de RR y el ajuste a los modelos de Cate-Nelson, fue realizado utilizando programas generados en Excel por el Ing. Agr. (PhD) C. Perdomo, del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía.

4) RESULTADOS

4.1) CARACTERIZACION CLIMÁTICA DEL AÑO POR REGION:

Los registros pluviométricos y de temperatura que figuran en el cuadro siguiente, son datos relevados en las Estaciones experimentales del I.N.I.A (La Estanzuela – Depto. de Colonia) y Dr. Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía – Depto. de Paysandú), y corresponden a la división en Región Sur y Norte respectivamente, efectuada en los ensayos de este trabajo.

Cuadro N° 3: Temperatura y precipitaciones para las regiones Sur y Norte, durante 1996 y la serie histórica

Mes	Colonia				Paysandú			
	Temp. Media mensual °C 1996	Prom. Histórico 1967 - 1997	Pp. Promed. mensual 1996	Prom. Histórico 1967 - 1997	Temp. Media mensual °C 1996	Prom. Histórico 1967 - 1997	Pp. Promed. mensual 1996	Prom. Histórico 1967 - 1997
Mayo	13.4	s/d	15.2	79.8	14.6	s/d	21.5	79.8
Junio	9.2	12	74.5	78.8	10.6	12	28.8	78.8
Julio	8.4	11.5	42.3	61.9	10.0	11.5	16.7	61.9
Agosto	13.8	12.2	32.1	69.4	16.1	12.2	7	69.4
Setiembre	12.8	14	178.7	82	17.5	14	62.9	82
Octubre	16.8	18	64.4	140	18.8	18	43.9	140
Noviembre	19.9	19.5	110.7	150	20.6	19.5	125.3	150

Los datos registrados para las precipitaciones, corresponden a un año seco, fundamentalmente en la zona Norte, con valores inferiores al 50% del promedio histórico durante el período considerado, situación similar en la zona Sur, hasta el mes de Agosto, registrándose abundantes lluvias en el mes de Septiembre.

En cuánto a la temperatura, las condiciones en la zona Sur fueron más frías que en el Norte, especialmente en meses de Mayo a Julio, con registros por debajo del promedio histórico, situación similar a la del Norte durante estos meses, aunque en esta zona no hubo mayores diferencias durante el período considerado, con el promedio histórico.

4.2) RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO A LA SIEMBRA

Una de las interrogantes frecuentes al momento de la siembra de cebada cervecera, es saber si habrá respuesta o no, a la fertilización nitrogenada, y de haberla, hasta cuanto, sin que se vean afectados los parámetros de calidad, en especial en el porcentaje de proteína en grano y también por la incidencia que tiene este nutriente sobre el vuelco del cultivo.

En la figura 1, se puede apreciar la respuesta en rendimiento en grano a distintas dosis de fertilizante nitrogenado a la siembra, para todos los sitios correspondientes a las Zona Sur y Norte.

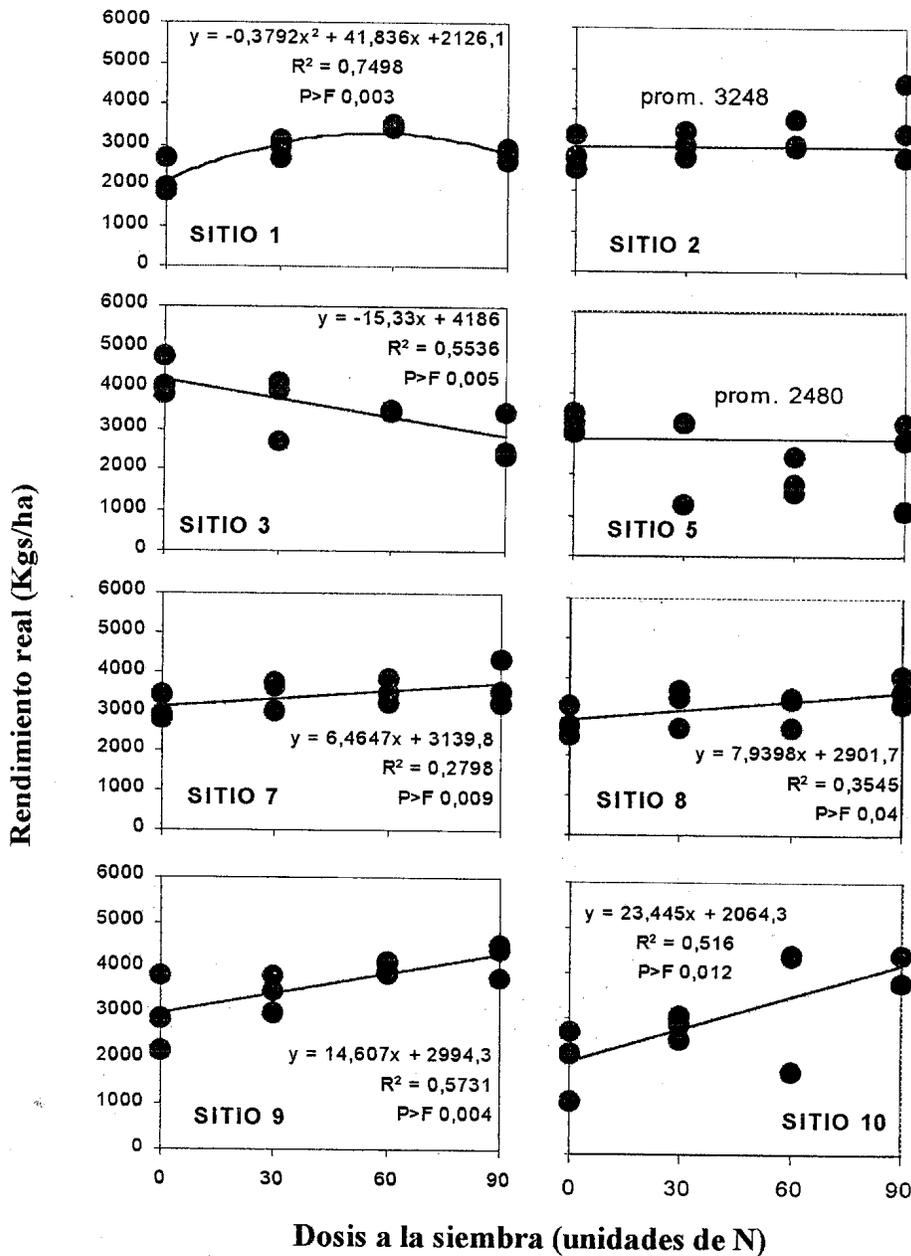


Figura 1: Respuesta en grano de cebada cervecera a diferentes dosis de N a la siembra para la dosis de N a Z-22 = 0 (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

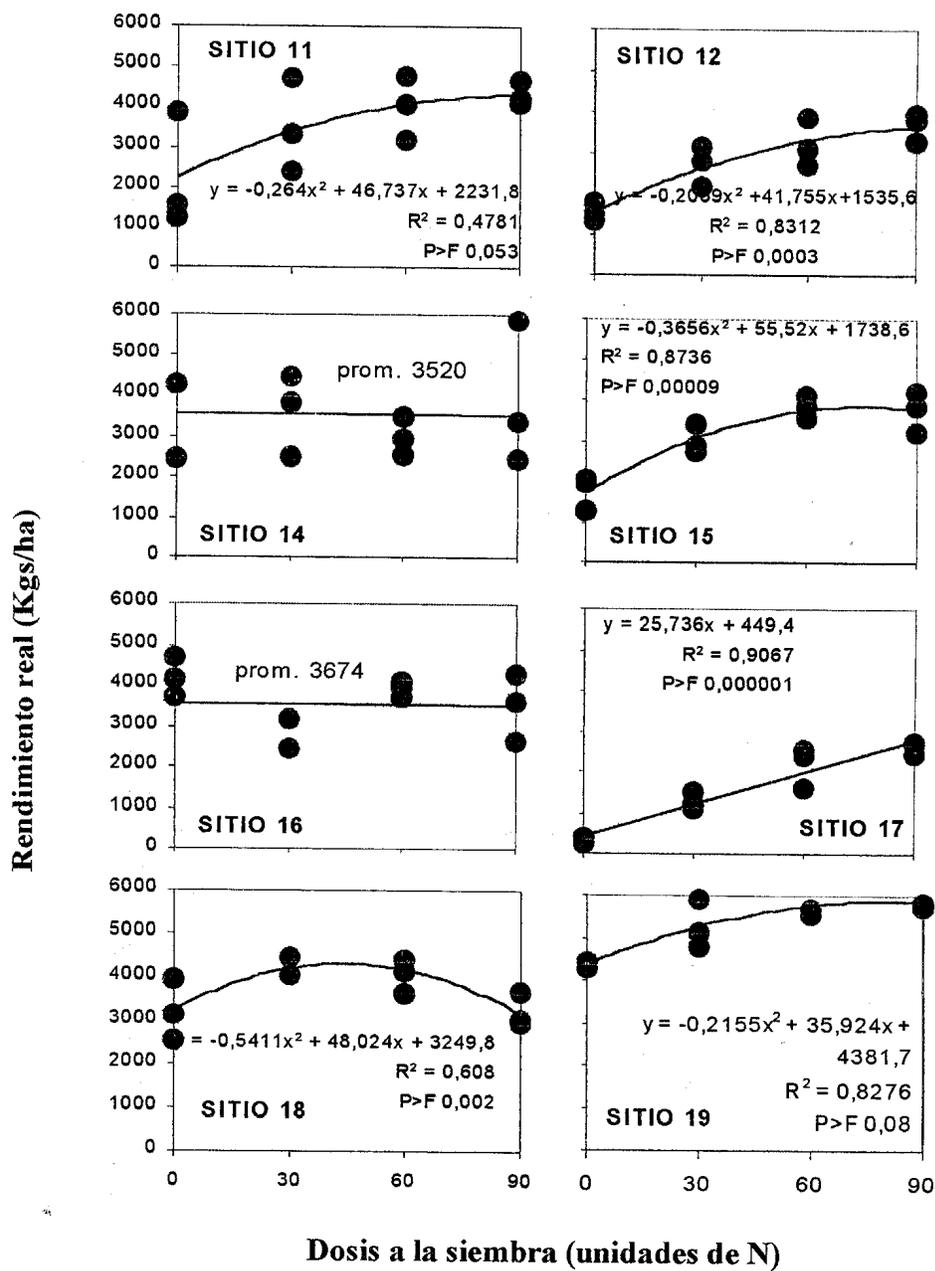


Figura 1: Respuesta en grano de cebada cervecera a diferentes dosis de N a la siembra para la dosis de N a Z-22 = 0 (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

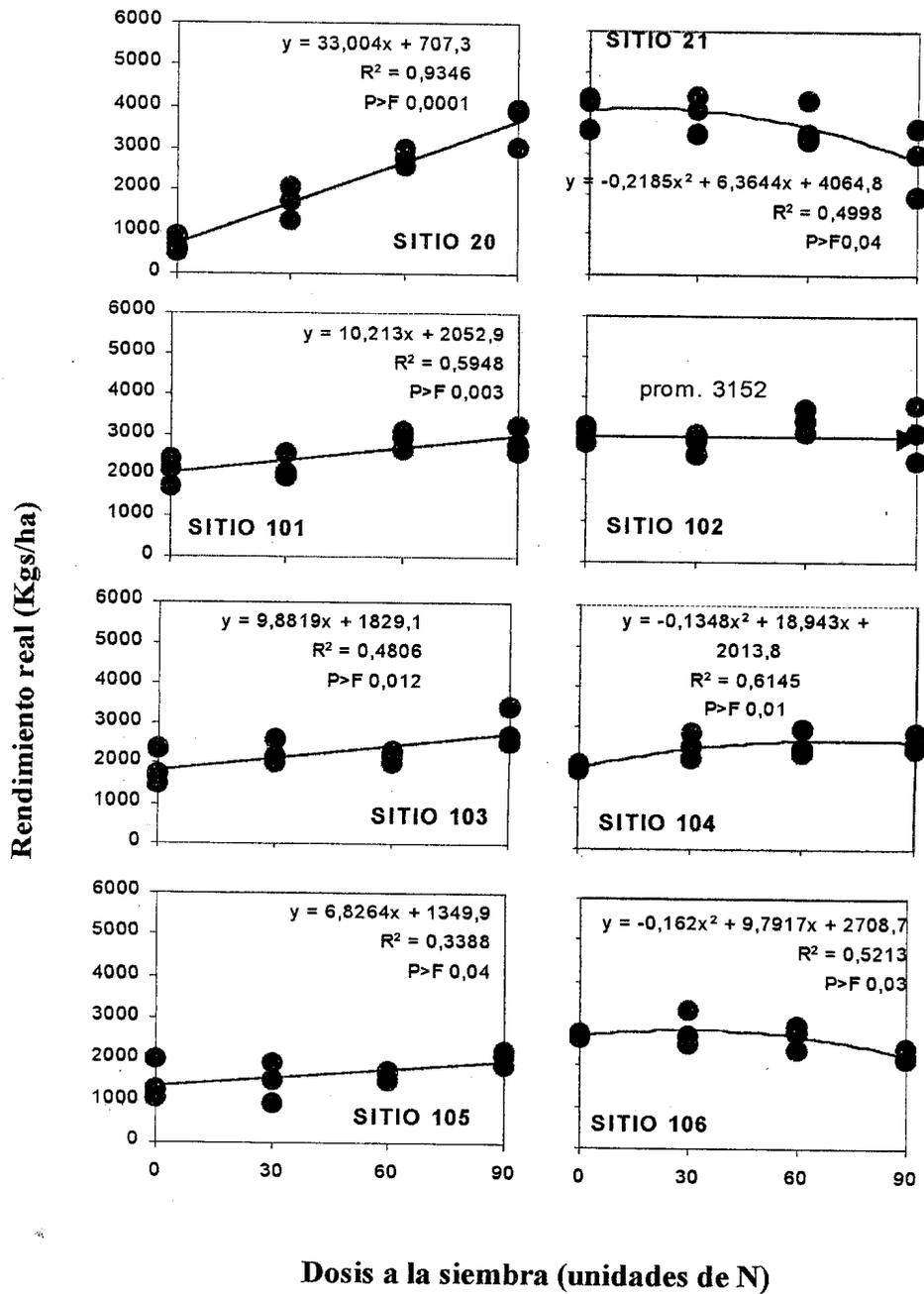


Figura 1: Respuesta en grano de cebada cervecera a diferentes dosis de N a la siembra para la dosis de N a Z-22 = 0 (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

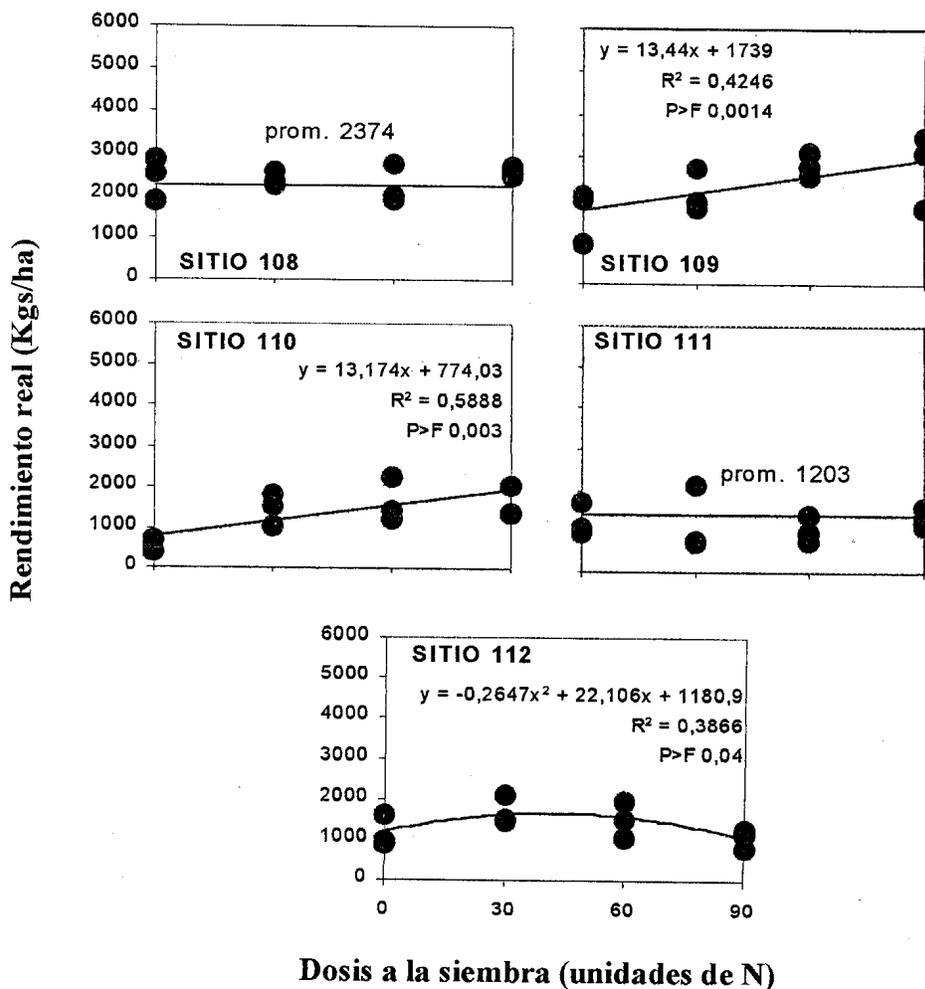


Figura 1: Respuesta en grano de cebada cervecera a diferentes dosis de N a la siembra para la dosis de N a Z-22 = 0 (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

Podemos observar en la figura 1, la diversidad de respuestas a la fertilización a siembra, existiendo una tendencia significativa en la mayoría de los sitios a aumentar el rendimiento en grano en forma lineal (41%), lo que se mantuvo incluso con dosis de hasta 90 unidades. Existen otras situaciones de respuesta cuadrática que llegan a una dosis óptima media (30 kgs de N/ha) (28%), de no incremento (14%) y un (17%) de respuesta decreciente.

Esto último, estaría de acuerdo con lo expresado por Hoffman et al., (1994), de que agregados de N en situaciones de suficiencia, puede no solamente llevar a deseconomías en el uso de este insumo, sino que pueden producirse pérdidas económicas importantes por depresión del rendimiento, en donde, cualquier factor que promueva un excesivo crecimiento inicial, lleva a una estructura desuniforme en la comunidad de tallos, que

compromete su fertilidad y por lo tanto el rendimiento final, siendo más frecuente incluso, que se incremente el riesgo de enfermedades y vuelco (Hoffman; Ernst y Perdomo, 1999).

Para evitar estas situaciones y ante la necesidad de disponer de indicadores objetivos para el manejo del N que permitan capitalizar la mejora del potencial de producción determinado por el ambiente, sin afectar la calidad del grano, se evaluaron una serie de indicadores a la siembra, que se detallan a continuación.

4.3) INDICADORES A LA SIEMBRA

4.3.1) Nivel de N-NO₃ en el suelo a profundidad 0-20 cm.

Dentro de las metodologías basadas en Análisis de suelos, la cuantificación del N mineral presente en el perfil del suelo, que permita establecer niveles críticos por debajo o encima de los cuales se encuentren las situaciones de demanda o no demanda de este nutriente, ha sido uno de los sistemas de ajuste de la fertilización N que se han priorizado, según denota la información nacional e internacional manejada.

En la siguiente figura, se presenta la relación existente entre la concentración de N-NO₃ en los primeros 20 cm de suelo y, el rendimiento relativo en grano, calculado relacionando el rendimiento máximo real alcanzado en cada sitio a cualquier nivel de N, y a dosis cero de nitrógeno.

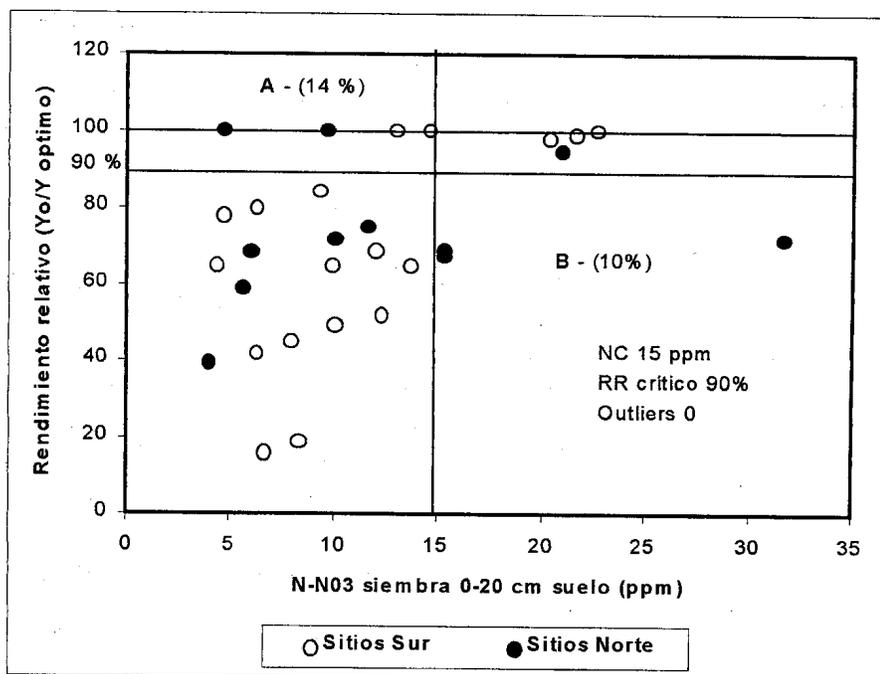


Figura 2: Relación entre rendimiento relativo y contenido de N-NO₃ en suelo 0-20 cm.

En la figura 2, se puede observar que los menores valores de rendimiento relativo (mayor respuesta), estuvieron asociados a menores concentraciones de N-NO₃ en el suelo en los primeros 20 cm., lo que permitió establecer el nivel crítico por encima del cual se obtendría baja probabilidad de respuesta al agregado de N, el cual se sitúa en torno a las 15 ppm de N-NO₃ (Cate y Nelson, 1965).

De los 29 sitios evaluados, los sitios 108, 111 y 16, registraron valores de N-NO₃ a la siembra por debajo del nivel crítico establecido, 5, 10 y 13 ppm respectivamente, y alcanzaron sin embargo, el 100% del rendimiento relativo, lo cual estaría evidenciando una situación de no respuesta a este nutriente.

Lo anterior estaría explicado por los bajos rendimientos alcanzados en esos sitios, menores a 2500 kgs/ha, debido probablemente a la existencia de otras restricciones, tipo de suelo, manejo anterior, etc., para alcanzar rendimientos máximos mayores, independientemente de los niveles de nitrógeno

Esto se comprueba, al observar las relaciones entre las diferentes dosis de N a la siembra y el rendimiento real de los sitios en cuestión (figura 1), que fueran negativas para el sitio 16 y de muy baja respuesta aún a altas dosis, en los sitios 108 y 111.

El objetivo de la metodología de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1965), es minimizar el número de observaciones con bajos valores del test en cuestión y que no responderían a la fertilización nitrogenada (sobrestiman la necesidad de N), ubicados en el cuadrante superior izquierdo (cuadrante A), delimitado por el nivel crítico y el 90% del rendimiento relativo, y aquellos con altos valores del test, que se encuentran en el cuadrante inferior derecho (cuadrante B), que no responderían a la misma (subestimación de las necesidades de N) (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Macneal, 1993; Klausner; Reid y Bouldin, 1993).

Desde un punto de vista práctico, para mantener la confianza en el test empleado, se requiere que el número de sitios en el cuadrante de la derecha abajo, al aplicarlo (fig. 2), sea mínimo. Si se recomienda no agregar N, en virtud de que los valores de NO₃ se encuentran por encima del valor crítico, y luego el cultivo manifiesta deficiencias de este nutriente, es probable que los productores no acepten continuar usando el mismo (Fox; Shenk; Piekielek; Westerhaus; Toth y Macneal, 1993).

El uso del contenido de NO₃ a la siembra como indicador de la respuesta a la fertilización nitrogenada, aparece como un buen test, identificando correctamente en un 76% (100% - [14% + 10% de los cuadrantes A y B respectivamente), las situaciones de respuesta y no respuesta a la fertilización N.

Esto se ilustra en el cuadro N° 4, donde se observa claramente que los sitios con valores de NO₃ por debajo y por encima del nivel crítico establecido, identificados por la metodología empleada, responden a la fertilización nitrogenada, de la manera esperada.

Cuadro N° 4: Sitios identificados a través de la metodología de Cate y Nelson con respuesta y no respuesta al agregado de N, y su respuesta real en rendimiento, al agregado de N (dosis máxima para cada sitio).

Sitio	N-NO3 S	Valor por debajo o encima del NC = 15 ppm (ppm)	Repta. Al agregado de N a la dosis máx. para c/sitio (kgs/ha)
1	10	-5	1154
2	5	-10	802
3	23	+8	-460
5	15	0	-303
7	9	-6	582
8	6	-9	714
9	12	-3	1315
10	10	-5	2110
11	12	-3	2069
12	6	-9	2137
14	20	+5	20
15	8	-7	2108
17	7	-8	2317
18	14	-1	1154
19	4	-11	1154
20	8	-7	2971
21	22	+7	-6
104	12	-3	665
105	6	-9	614
106	21	+6	148
109	6	-9	1210
110	4	-1	1186
112	10	-5	462

4.3.2) Otros indicadores

Además del contenido de NO₃ en el suelo a la siembra, se evaluaron otros cuatro indicadores, con el fin de verificar si alguno de ellos, mejora la predicción de respuesta a la fertilización N, o en su defecto, permite reforzar la capacidad predictiva del mismo: el contenido de NH₄, el nitrógeno mineral total, el porcentaje de materia orgánica y el potencial de mineralización.

Con el fin de evaluar su capacidad de predicción, se relacionaron los valores obtenidos para estos indicadores, con los rendimientos relativos, tal como se aprecia en la figura 3, de igual manera como se hiciera con la concentración de NO₃ a la siembra.

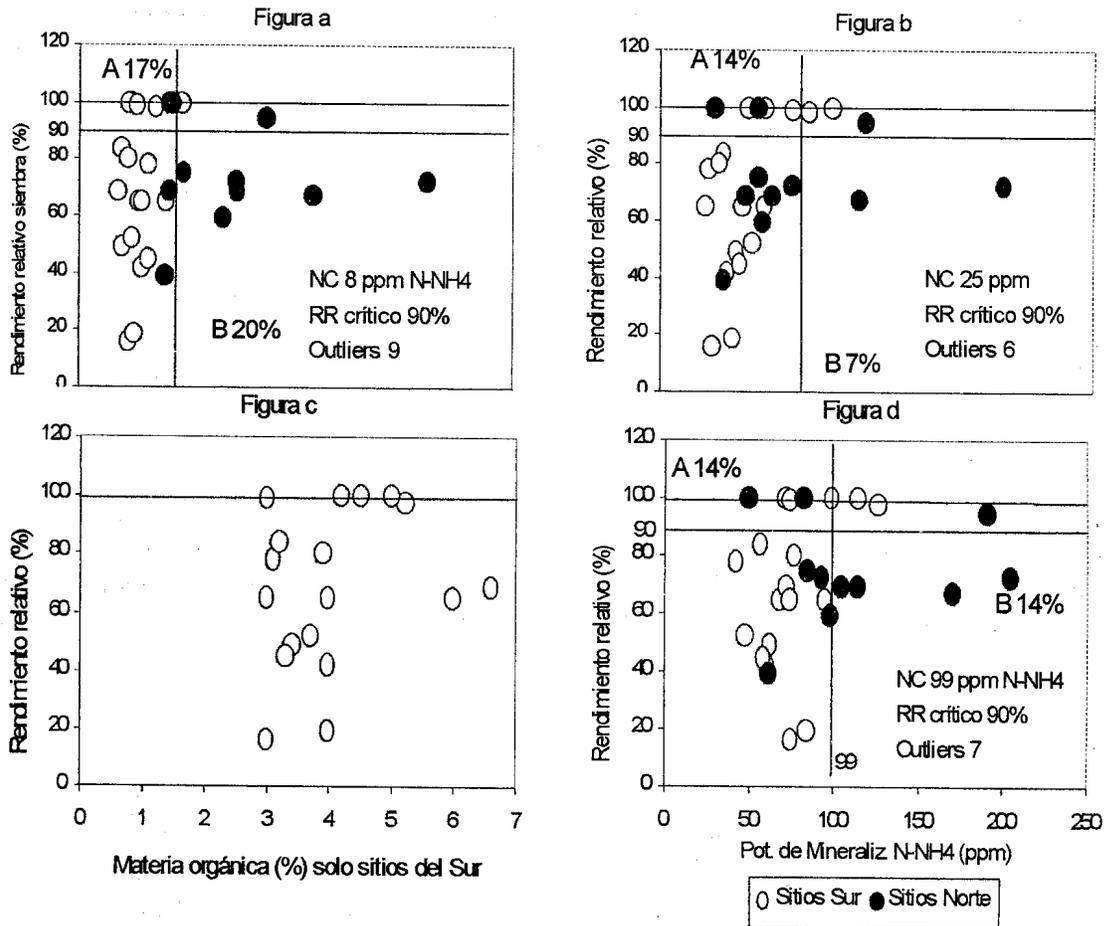


Figura 3: Relación entre rendimiento relativo y otros indicadores de suelo a la siembra

Estos cuatro indicadores evaluados, no mejoran finalmente, el ajuste observado al emplear el contenido de NO₃ en el suelo a la siembra. La relación encontrada con el rendimiento relativo y a su vez con el NO₃ a la siembra, es analizada en el siguiente capítulo.

4.3.2.1) El porcentaje de materia orgánica

Podemos observar en la figura 3c, que para iguales valores de contenido de materia orgánica del suelo, le correspondieron niveles de respuesta muy contrastantes. Esto confirma lo expresado por Baethgen, (1992^a), que la cantidad de N que se hace disponible a

través de la mineralización de la misma, varía entre años, dependiendo de las condiciones climáticas (principalmente lluvia y temperatura), y otras variables de manejo: tipo de residuo, largo de barbecho, etc. (Perdomo, 1996).

Actualmente en el Uruguay, es frecuente que el cultivo de cebada cervecera, forme parte de un esquema de rotación con pasturas que contienen leguminosas, estando bien establecido el aumento en la disponibilidad de nitrógeno, que ocurre al roturar una pastura (Baethgen, 1992^a). Pero, según el mismo autor, el contenido de MOS es poco sensible a este cambio, lo que podría estar explicando esa gran variabilidad en los niveles de respuesta, que se observa frente a valores semejantes de MOS, y por ende, limitando su valor como indicador en este tipo de situaciones.

En la figura 4 a continuación, se relaciona al mismo, con el contenido de NO₃ en los primeros 20cm de suelo, indicador que mostró un muy buen ajuste con la respuesta a la fertilización N.

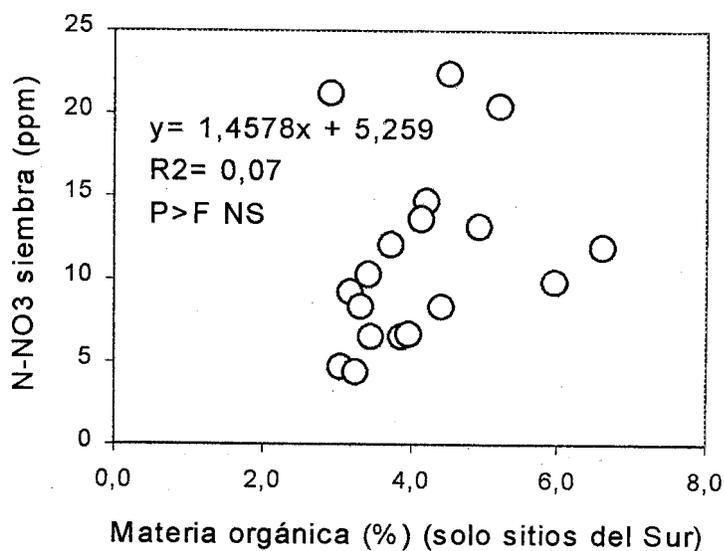


Figura 4: Relación entre el porcentaje de materia orgánica y el nivel de N-NO₃ en suelo (0-20 cm) a la siembra

Tal cual como se observa en esta figura, no se pudo establecer ningún tipo de relación estadísticamente significativa, entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y el contenido de nitratos a la siembra, correspondiendo diferentes valores de NO₃, a niveles similares de MOS. Vemos que no se pudo establecer ninguna relación estadísticamente significativa entre ambas variables.

Según Perdomo, (1996), un mismo porcentaje de MOS, significa cosas totalmente distintas en distintos suelos, y aún dentro de un mismo suelo, este índice no considera el efecto del manejo anterior más reciente, tal cual como se expresara en párrafos anteriores.

Por lo tanto, en función del buen ajuste que mostró el contenido de NO_3 con el rendimiento relativo, índice de respuesta empleado, (fig. 2) a través de la metodología de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1965), se estaría desestimando al contenido de M.O.S como indicador cuantitativo de la respuesta a la fertilización N.

Esto, ratifica lo señalado por Baethgen, (1992^a), que la utilización de la materia orgánica como indicador de la disponibilidad de N para un cultivo, tiene como limitante, que solo indica la capacidad potencial de un suelo para suministrar N

4.3.2.2) El contenido de N-NH₄

El uso del NH_4 a la siembra como indicador de la respuesta a la fertilización nitrogenada, no mejora la capacidad de predicción del test de NO_3 , identificando solamente el 63% de las situaciones de respuesta y no respuesta a la fertilización N (100% - [17% + 20% de los cuadrantes A y B respectivamente), valor que disminuye al 43%, al analizar ese 20% de sitios ubicados en el cuadrante B, tal como se detalla a continuación.

Los mismos, sitios 102, 103, 104, 105, 109 y 112, con valores de NH_4 por encima del nivel crítico, no estarían respondiendo al agregado de N, cuando en la realidad lo hicieron, con una respuesta mínima de 462 kgs de grano a la dosis máxima de N agregado, por lo que es muy alto el porcentaje de situaciones donde el test sugiere no fertilizar, cuando en realidad sería necesario.

A su vez, la relación de este indicador con el NO_3 a la siembra es muy baja ($R^2=0.27$), observándose una dispersión muy importante entre valores por debajo de 15 ppm de N- NO_3 , por lo que, su empleo no fortalecería el uso de aquel como indicador.

4.3.2.3) El potencial de mineralización

En relación al uso del potencial de mineralización (incubación anaeróbica), como indicador de la capacidad de aporte de N del suelo, el mismo, posibilitó el establecimiento de un nivel crítico para las situaciones de estos ensayos, de 99 ppm de N- NH_4 (figura 3d). Este resultó superior al que obtuvieron Fox y Piekielek, (1984), de 55,5 mg de N- NH_4/kg , trabajando con el mismo índice biológico en suelos de Pennsylvania (E.U.A), por encima de los cuales, se encontrarían los suelos con alta capacidad de aporte de N.

Sin embargo, estos mismos autores, señalan que este indicador no mostró un buen ajuste con la respuesta al N, y sostienen que el N mineralizado en condiciones de laboratorio, no estaría bien correlacionado con la disponibilidad de N a campo, por lo que existiría coincidencia entre varios autores, en que la estimación del potencial de

mineralización de N de los suelos, debería utilizarse como complementario y no como sustitutivo del análisis de NO₃ (Stanford, 1982; Meisinger, 1984).

El presente trabajo corrobora lo anterior, al usar el potencial de mineralización como indicador de la respuesta al N. El mismo, solamente identificó el 72% de las situaciones de respuesta y no respuesta (100% - [14% + 14% de los cuadrantes A y B respectivamente), disminuyendo al 58%, al analizar los sitios 101, 102 103 y 105 correspondientes al 14% del cuadrante B, de igual manera que lo realizado cuando se usó el NH₄ como indicador, los que no estarían respondiendo al agregado de N, cuando en la realidad lo hicieron.

Nuevamente es alto el porcentaje de situaciones donde el test sugiere no fertilizar, cuando en realidad sería necesario.

La relación que se establece entre este indicador y el contenido de NO₃ ($R^2 = 0,53$), tal como se observa en la figura 5, si bien aparece como promisoría, el ajuste entre este indicador y la respuesta al N, no mejora el que se obtiene al usar nitratos, ratificando lo expresado por Stanford, (1982) y Meisinger, (1984), que la utilidad del mismo, sería como complementario y no sustitutivo del test de nitratos.

En la misma figura, observamos que cuando el potencial de mineralización es elevado, los valores de nitratos son superiores a 15 ppm, pero a valores bajos, se ubica una dispersión muy importante.

Dado que la correlación lineal entre este indicador y la concentración de N-NO₃ en el suelo, tal como se observa en el cuadro 7, es alta ($r = 0.70^{**}$), sigue siendo mejor usar este último, en función del buen ajuste demostrado y la rapidez para obtener los resultados.

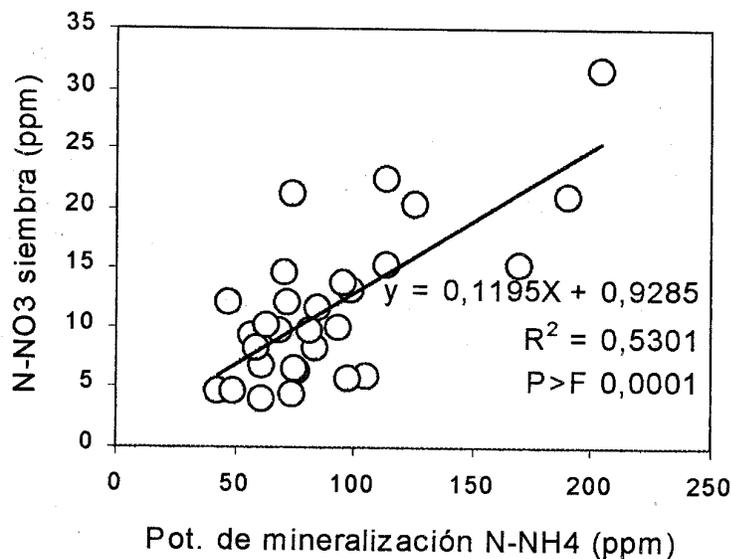


Figura 5: Relación entre el Potencial de mineralización de N-NH4 y el N-NO3 a la siembra en ppm

4.3.2.4) El nitrógeno mineral total

En cuanto al uso del contenido de N mineral total del suelo a la siembra ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$), como indicador de la respuesta a la fertilización nitrogenada, figura 3b, el mismo presentó un buen ajuste con el grado de respuesta al agregado de N a la siembra, identificando el 79% de los casos de respuesta y no respuesta ($100\% - [14\% + 7\%$ de los cuadrantes A y B respectivamente).

También en este caso, se reitera el hecho de que los sitios ubicados en el cuadrante B, sitios 102 y 103, con valores de N Min. Total por encima del valor crítico establecido, respondieron en la realidad al agregado de N, cuando los valores obtenidos mediante el test indicaban que no lo haría.

De todos modos, el ajuste solo disminuiría en un 7%, ubicándose entonces en 72% el total de situaciones de respuesta y no respuesta, identificados al usar este indicador, lo que se encuentra levemente por debajo del 76% al usar el N-NO3 del suelo también a la siembra.

Dado que el uso del N mineral total, tampoco mejora el ajuste obtenido entre el rendimiento relativo y el contenido de N-NO3, y a pesar de que la relación que guarda este indicador ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$), con el contenido de nitratos, logra un buen ajuste ($r = 0.78$), como

se aprecia en la figura 6, la inclusión de NH_4 , agregaría una complicación adicional en la rutina y costos de análisis, que no mejoraría la capacidad de predicción al usar el NO_3 como indicador de la respuesta a N.

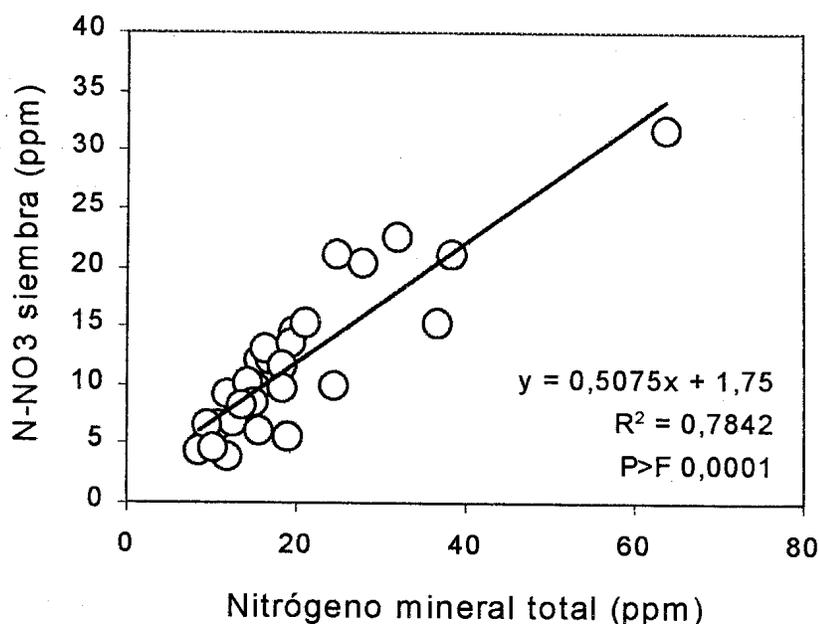


Figura 6: Relación entre el Nitrógeno mineral total y el N-NO3 a la siembra en ppm

4.4) CORRELACIONES ENTRE LOS INDICADORES

Con anterioridad, se analizó la relación entre cada indicador evaluado a la siembra, y el rendimiento relativo, índice de magnitud de respuesta empleado en este trabajo, y luego se observó como se relacionaban los mismos entre sí, realizándose el análisis de regresión correspondiente a cada una de ellas.

Si bien, el contenido de NO_3 a 0-20 cm fue quién mostró el mejor ajuste de todos ellos, no quiere decir que no existan relaciones estrechas entre los indicadores evaluados, tal como se aprecian en el cuadro N° 5. En el mismo, se observan las correlaciones lineales entre los diferentes índices de disponibilidad evaluados a la siembra, que corroboran la consistencia de la relación que existe entre alguno de ellos.

Cuadro N° 5: Coeficientes de correlación lineal entre los diferentes índices de disponibilidad de N a la siembra:

	N-NH4S	N-NO3S	M.O.	POT. MIN.	N. TOTAL
N-NH4S	-	0.51**	0.09*	0.76**	0.86**
N-NO3S	-	-	0.11*	0.70**	0.85**
M.O.	-	-	-	0.22**	0.13**
POT.MIN.	-	-	-	-	0.83**
N.TOTAL	-	-	-	-	-

(*) significativo al 0.05%

(**) significativo al 0.01%

Las correlaciones encontradas entre los indicadores a la siembra, confirman por un lado, la baja relación existente entre el porcentaje de materia orgánica y los demás indicadores que miden la concentración de N mineral en los primeros 20 cm de suelo y por otro lado, muestra la buena relación entre el índice de NO₃ y los otros indicadores que evalúan el N disponible para el cultivo.

El potencial de mineralización y el nitrógeno mineral total, muestran buenas correlaciones entre sí y con los demás indicadores, a excepción del contenido de materia orgánica como ya se expresara anteriormente .

Otros autores, también encuentran correlaciones bastante similares a las halladas en este trabajo ($r=0.70$), entre el potencial de mineralización y el N-NO₃ a la siembra - $r=0,64$ - (Carrquiry, 1998), y entre el N mineralizable total y el potencial de mineralización (Gianello y Bremner, 1986).

4.5) NITRATOS EN EL SUELO A LA SIEMBRA Y RENDIMIENTO RELATIVO, SEGÚN TIPOS DE SUELO Y DIFERENTES VARIABLES DE MANEJO

Antes de entrar en el análisis de esta relación, es importante observar que sucede con la concentración de nitratos en el suelo a la siembra, según el tipo de suelos y manejo anterior de los diferentes sitios, tal cual como aparece en la figura 7.

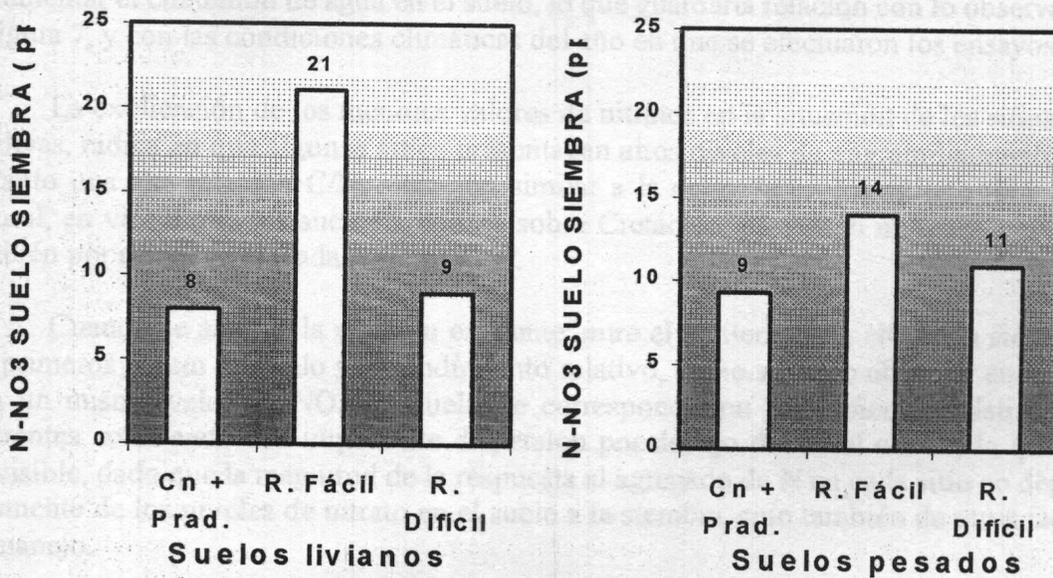


Figura 7: Concentración de N-NO₃ en primeros 20 cm de suelo (ppm), según tipo de suelos y manejo anterior

Podemos observar en la figura 7, que la variación de la concentración de NO₃ para las diferentes situaciones de tipo de suelo y manejo anterior, presentó valores semejantes, con la única excepción de las situaciones de chacra sobre rastrojo fácil, en donde, a pesar de que los suelos livianos son más fríos y con menor porcentaje de materia orgánica que los pesados, se alcanzaron niveles de nitratos superiores.

Esto último puede deberse a que en las condiciones de falta de agua, particularmente en la zona Norte, donde se concentró la mayoría de los sitios sobre suelos livianos, la nitrificación y por lo tanto el contenido de NO₃ en suelo, fue superior en este tipo de suelos, dado que mantuvieron por más tiempo, un contenido de humedad no limitante para la nitrificación.

Estos altos valores de nitratos encontrados sobre rastrojo fácil en ambos tipos de suelos, podría estar relacionado a la calidad del substrato (rastrojo), que está siendo descompuesto. Un substrato de pobre calidad (rastrojo difícil), caracterizado por una relación C/N alta y/o alto contenido de lignina (Ej. Maíz, sorgo), enlentece la mineralización, aumentando la competencia por nitrógeno ya amonificado, lo que resulta en una menor mineralización neta y por ende, en bajos contenidos de NO₃ en el suelo (Rice y Havlin, 1994).

Según Stanford y Epstein, (1994); cit. por Carriquiry, (1998); entre el 93 y el 99% de la variación en la mineralización de N, estaría asociada a cambios en el contenido de

agua del suelo, y cuando el substrato tiene una alta relación C/N (rastrajo difícil), posiblemente la tasa de inmovilización aumente más rápidamente que la de mineralización, al aumentar el contenido de agua en el suelo, lo que guardaría relación con lo observado en la figura 7, y con las condiciones climáticas del año en que se efectuaron los ensayos.

La explicación de los menores valores de nitratos en la situación de los sitios sobre praderas, radica en que algunos sitios presentaban altos niveles de engramillamiento y por lo tanto una alta relación C/N, situación similar a la ocurrida en los sitios sobre campo natural, en virtud que los suelos arenosos sobre Cretácico, presentan un tapiz compuesto también por restos de elevada relación C/N.

Cuando se analizó la relación existente entre el contenido de NO_3 a la siembra en los primeros 20 cm de suelo y el rendimiento relativo, como se pudo observar en la figura 2, a un mismo valor de NO_3 en suelo, le correspondieron rendimientos relativos muy diferentes, existiendo una importante dispersión por debajo del nivel crítico, lo que sería previsible, dado que la magnitud de la respuesta al agregado de N en cada sitio no depende solamente de los niveles de nitrato en el suelo a la siembra, sino también de otros factores de manejo.

Para intentar explicar una parte de esa variabilidad no debida a N- NO_3 , se agruparon los sitios en dos grupos de respuesta, separando por un lado los de bajo poder de suministro en el corto plazo y alta respuesta esperable al fertilizante nitrogenado (chacras viejas, suelos livianos, rastrojos con alta relación C/N, y voluminosos), y por otro, los de alto poder de suministro y baja respuesta al fertilizante nitrogenado (chacras nuevas, luego de roturación de una pastura, rastrojos con baja relación C/N, suelos pesados), (cuadro N°6).

Cuadro 6: Descripción de los sitios experimentales según grupos de respuesta

Sitio	Clasific. textural (*)	Hist.ch.	Rastrojo	Tip Rast (**)	Sist. Lab	Gpo.Rpta.
96001	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional	ALTA
96002	Liviano	Nueva	pradera	Fácil	Convencional	BAJA
96003	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional	BAJA
96005	Pesado	Vieja	cebada	Fácil	Convencional	BAJA
96007	Pesado	Vieja	avena	Fácil	Convencional	BAJA
96008	Pesado	Vieja	maíz	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96009	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96010	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96011	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional	ALTA
96012	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional	ALTA
96014	Pesado	Vieja	girasol	Fácil	Convencional	BAJA
96015	Pesado	Vieja	girasol	Fácil	Convencional	BAJA
96016	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Convencional	BAJA
96017	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96018	Pesado	Vieja	cebada	Fácil	Convencional	BAJA
96019	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional	BAJA
96020	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96021	Liviano	Vieja	maíz	Difícil	Convencional	BAJA
96101	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Siem. Directa	ALTA
96102	Liviano	Vieja	girasol	Fácil	Convencional	ALTA
96103	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Siem. Directa	ALTA
96104	Liviano	Nueva	campo nat.	Fácil	Convencional	BAJA
96105	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Convencional	BAJA
96106	Pesado	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional	ALTA
96108	Liviano	Nueva	campo nat.	Fácil	Convencional	BAJA
96109	Pesado	Nueva	pradera	Fácil	Siem. Directa	BAJA
96110	Liviano	Vieja	sorgo	Difícil	Convencional	ALTA
96111	Liviano	Nueva	pradera	Fácil	Convencional	BAJA
96112	Pesado	Vieja	maíz	Difícil	Convencional	ALTA

(*) Medida subjetiva efectuada por quién instaló el sitio

(**) Clasificación de acuerdo a velocidad estimada de mineralización

Una vez efectuado el agrupamiento, se procedió a analizar nuevamente la relación existente entre los niveles de NO₃ a la siembra y rendimiento relativo, con el fin de observar la variación de los niveles críticos que separan situaciones de respuesta y no respuesta, atendiendo al conjunto de variables de manejo (figura 8).

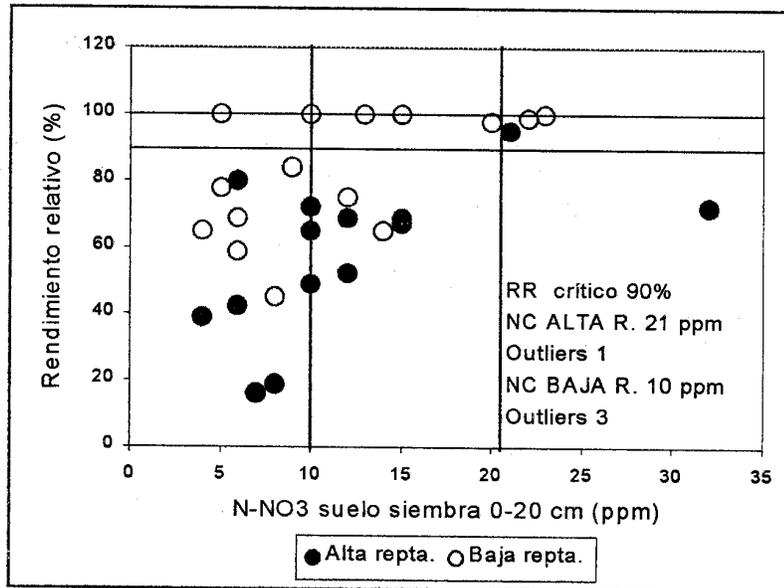


Figura 8: Relación entre N-NO3 en el suelo a la siembra y rendimiento relativo según grupos de respuesta.

Si bien el rango de NO3 a la siembra no difiere para los distintos grupos, a excepción de un sitio dentro de los de alta respuesta que mostrara valores promedios de 32 ppm, no sucede lo mismo con los niveles críticos, pues para los sitios considerados como de baja respuesta, se sitúa en torno a las 10 ppm de N-NO3, siendo de 21 ppm para los demás sitios pertenecientes al otro grupo.

Estos, son resultados primarios y corresponde mencionar que los mismos fueron logrados con muy pocos puntos (sitios).

Al separar los sitios según grupos de respuesta, y analizar los datos mediante la metodología de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1965), los nuevos niveles críticos establecidos según el grupo al que pertenezcan, difieren sensiblemente del NC = 15 ppm de N-NO3, establecido sin efectuar separación alguna.

Esto, permitiría mejorar la fortaleza o capacidad de predicción de este indicador, además de significar un ahorro importante, dado que en situaciones previstas como de baja respuesta, ya con 10 ppm de N-NO3 a la siembra, sería innecesario el agregado de N en ese momento, lo que se encuentra bastante por debajo del nivel de 15 ppm, establecido anteriormente sin tener en cuenta esta separación.

Del mismo modo, para las situaciones de alta respuesta, se eleva el nivel crítico a 21 ppm de N-NO₃, lo que evitaría no agregar N en situaciones de insuficiencia, con las consecuentes pérdidas en rendimiento final, al estar tomando ese mismo NC = 15 ppm.

Atendiendo a las respuestas en rendimiento real ante las diferentes dosis de N aplicadas a la siembra, tal como se observa en la figura 9, se ratifica la conveniencia de la separación en grupos de respuesta, en función de que, para un mismo valor de N-NO₃ por debajo del nivel crítico de 15 ppm establecido para ese momento, la variabilidad de la respuesta, es muy amplia.

El agregado de altas dosis en ese momento (60 y 90 unidades de N), teniendo en cuenta solamente los valores de NO₃ en el suelo, independientemente de las otras variables de manejo, no estaría asegurando por si solo, la obtención de altos rendimientos.

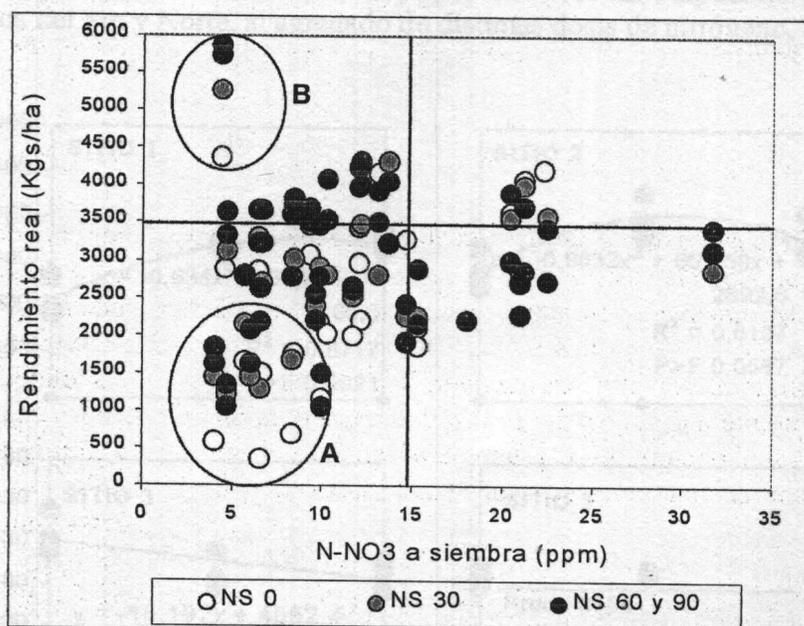


Figura 9: Relación entre N-NO₃ a la siembra (0-20 cm) y rendimiento real, con las diferentes dosis de N agregados

El bajo contenido de NO₃ en el suelo, junto a otro conjunto de variables de manejo (tipo de suelo, largo de barbecho, etc.), puede estar afectando el potencial de rendimiento, llevando a que si bien existe una respuesta importante al nitrógeno, no se logre alcanzar los máximos rendimientos.

Un ejemplo de estas situaciones, pueden ser siembras tardías, asociadas a problemas de reparación de suelo, o siembras fuera de época sobre rastrojos de difícil descomposición, como sorgo.

Puede existir un bajo contenido de nitratos a la siembra como consecuencia de lluvias importantes antes de la misma, estando el resto de las variables de manejo muy bien ajustadas, por lo que el nivel de NO₃ es bajo solo ocasionalmente por el nivel de lluvias, lo que no impide la obtención de altos rendimientos como los que se observan en los sitios dentro del círculo señalado por la letra B, (figura 9).

En cambio, si los niveles de nitrato continúan siendo bajos, pero las demás variables de manejo se encuentran mal ajustadas, inciden directamente sobre el nivel de NO₃ en el suelo, pero también sobre el potencial de rendimiento, dándose entonces la situación que se observa en los sitios dentro del círculo señalado con la letra A, (figura 9).

4.6) RESPUESTA AL N A Z-22

En la figura 10 a continuación, se puede observar las respuestas encontradas en todos los sitios del Sur y Norte, al agregado de distintas dosis de nitrógeno, en este estadio.

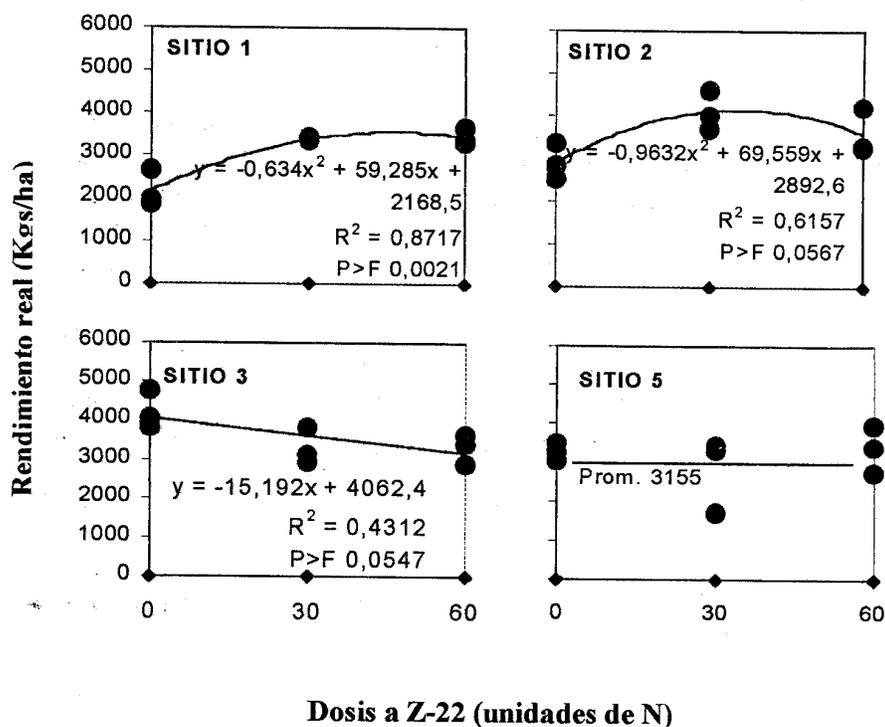


Fig. 10: Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

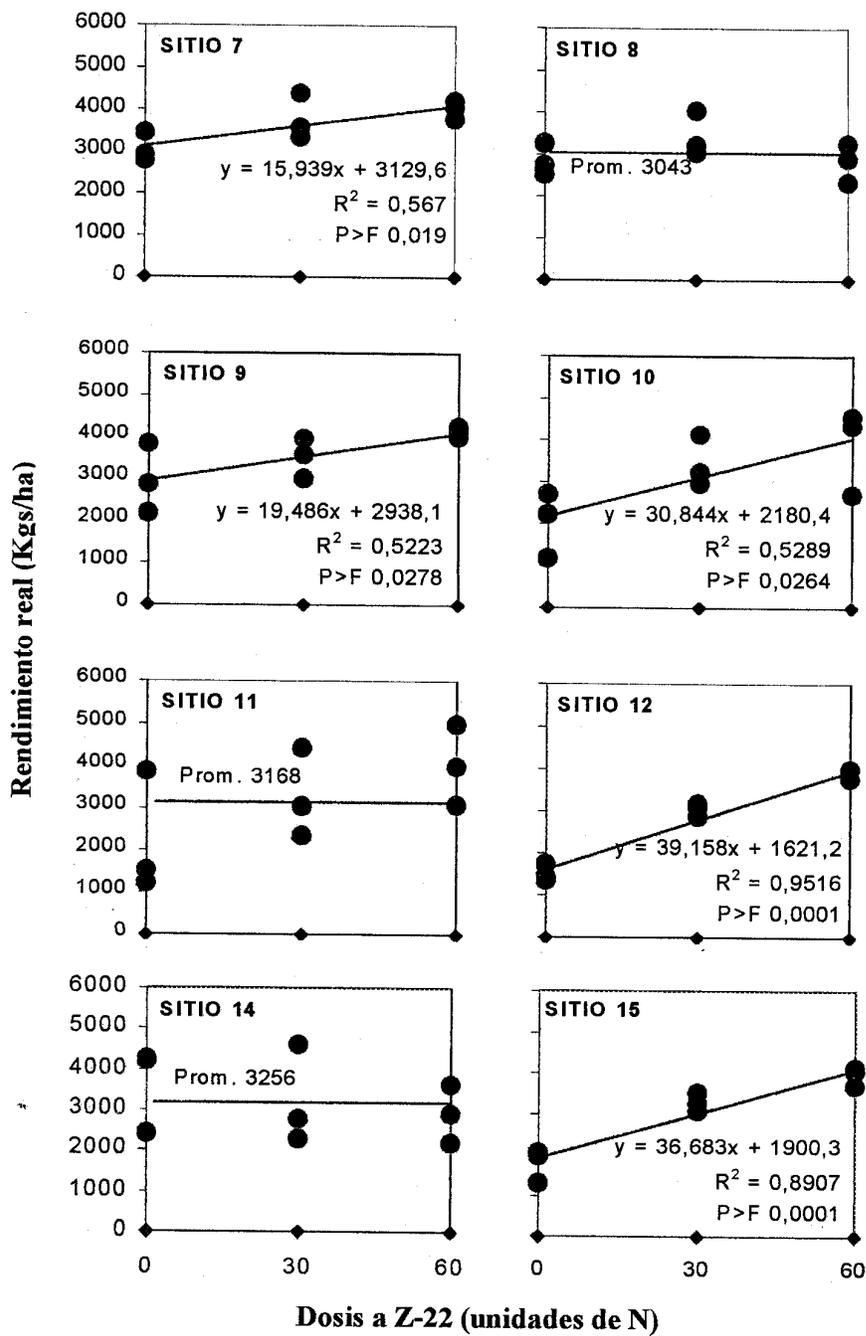


Fig. 10; Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112)

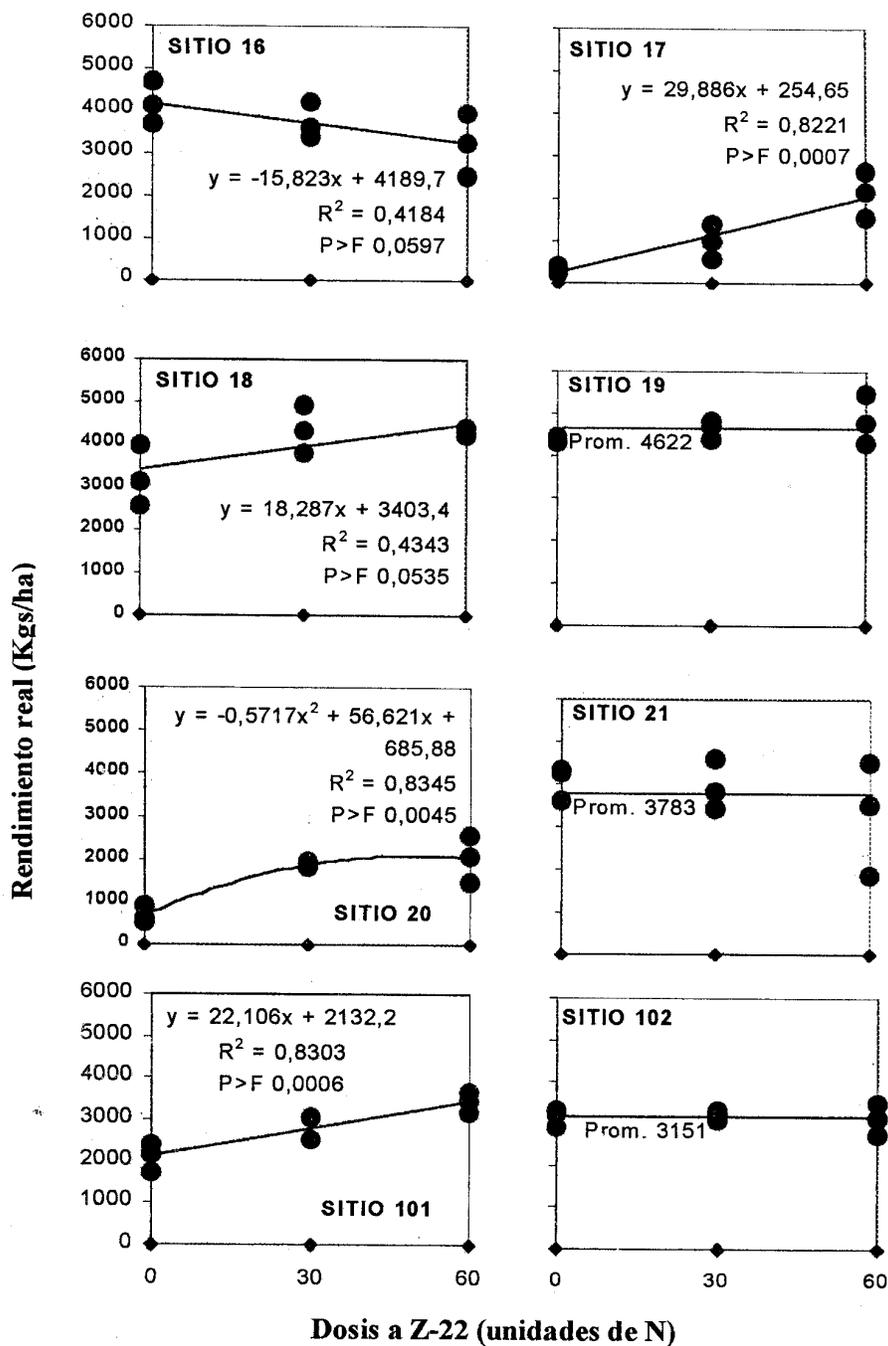


Fig. 10: Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

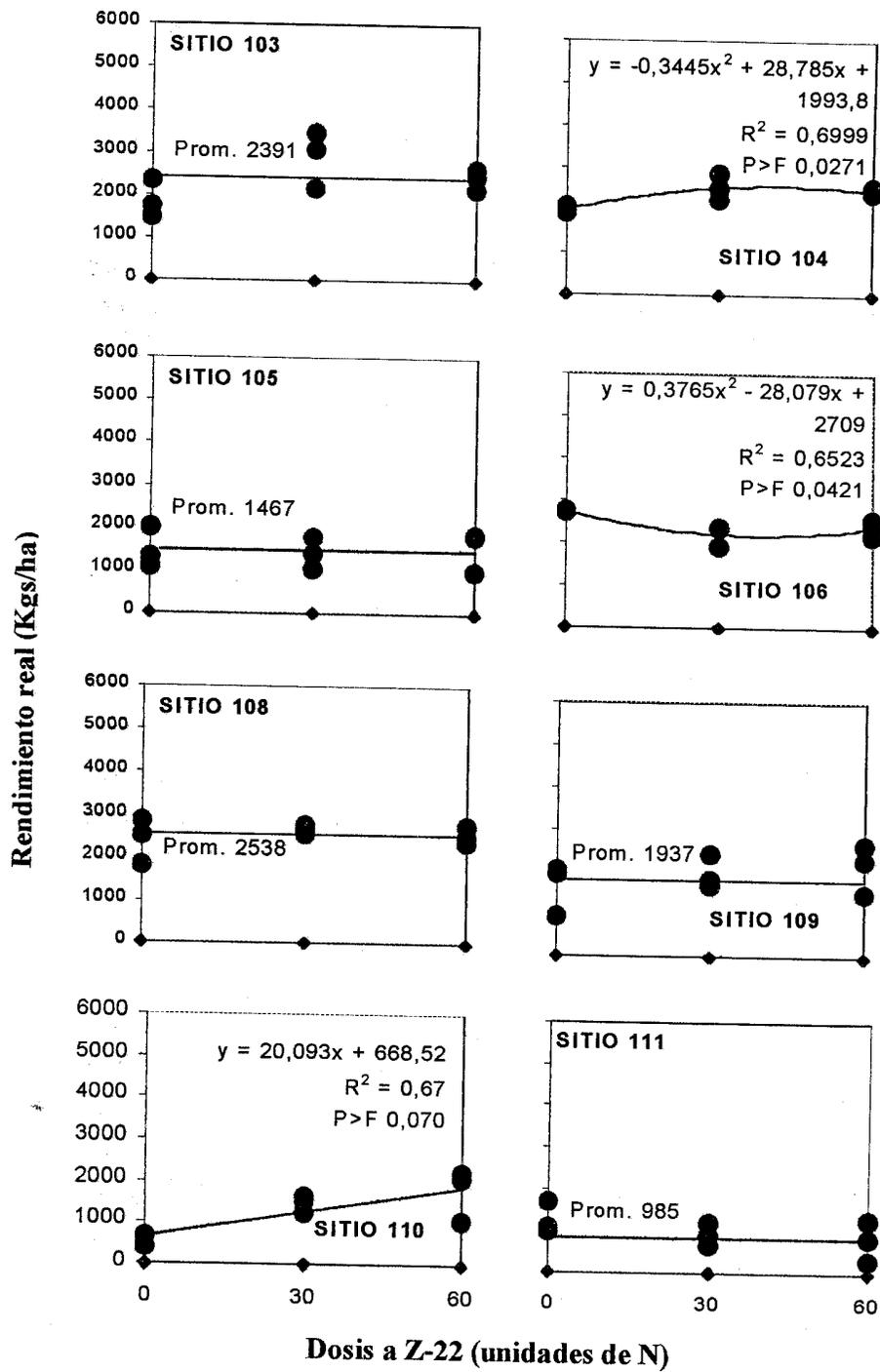


Fig. 10: Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

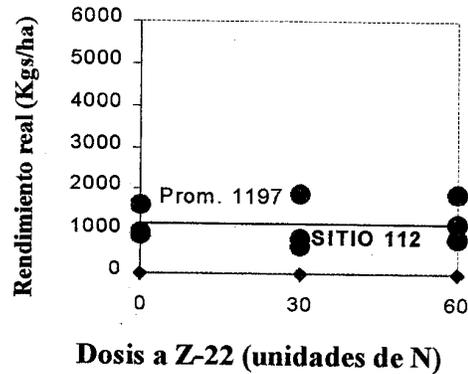


Fig. 10: Respuesta en grano de cebada cervecera, a diferentes dosis de N a Z-22 (inicio de macollaje), y 0 N a la siembra (sitios del Sur 1 a 21 y Norte 101 a 112).

Al analizar lo que ocurre con el agregado de N a Z-22 (figura 10), se observa que el número de sitios con respuesta al agregado del mismo, es inferior que la siembra, siendo incluso la misma, de menor magnitud.

Un total de trece sitios (45%), que respondieran al agregado de N a la siembra, también lo hicieron a Z-22, cuatro de ellos hasta 30 unidades y nueve hasta 60 unidades de N.

Los menores incrementos alcanzados en rendimiento, ante el agregado de N en este estadio, correspondieron mayormente a sitios de la zona Norte. En esta zona, los rendimientos alcanzados fueron muy bajos, menores a 2500 kgs/ha, lo que sería atribuible a otras variables de manejo, independientemente de los niveles disponibles de N.

Solo en un 36% del total de sitios de esta zona, fue posible ajustar ecuaciones de regresión significativas.

Los sitios que presentaron respuesta negativa a siembra, por bajo potencial o por presentar altos niveles de nitratos en el suelo, se comportan similarmente en este estadio.

Sin embargo, existe un importante número de sitios, que presentan una respuesta a Z-22, diferente a la observada a la siembra. Esto es lo que justifica buscar también un indicador en este estadio, para analizar la respuesta a nitrógeno, independiente de la respuesta a la siembra.

4.6.1) Nivel de N-NO3 en suelo a 0-20 cm

En este estadio, es el momento a partir del cual se comienza a definir el potencial máximo de rendimiento en el tallo principal y por lo tanto es importante que no existan

deficiencias de Nitrógeno (Hoffman et al., 1992). El único indicador cuantitativo de la disponibilidad de N en el suelo que se evaluó, fue la concentración de NO₃ a la profundidad de 0-20 cm.

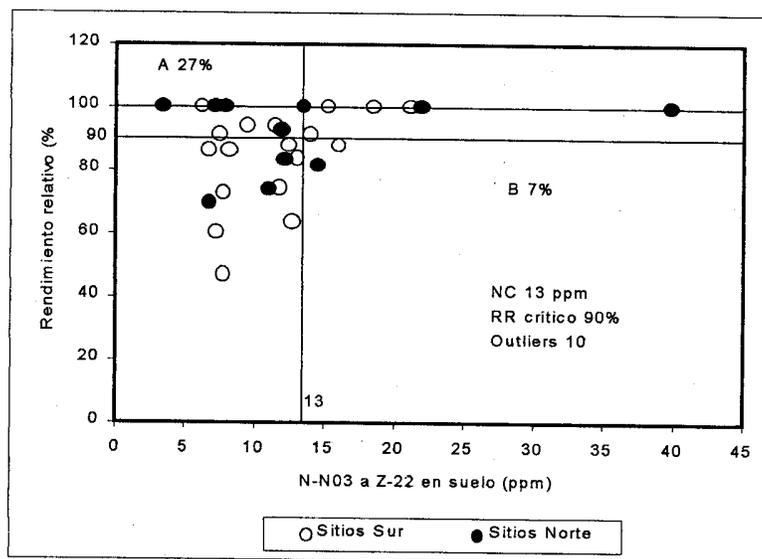


Figura 11: Relación entre el N-NO₃ a Z-22 en los 20 cm de suelo (ppm) y el rendimiento relativo (%), para 30, 60 y 90 unidades de N a la siembra.

La concentración de NO₃ en los primeros 20 cm de suelo, presentó una relación muy estrecha con el rendimiento relativo, de la misma forma como lo hizo cuando el mismo fue evaluado a la siembra.

Se determinó a través de la metodología de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1965), un nivel crítico en torno a las 13 ppm de N-NO₃ en el suelo, por encima del cual la probabilidad de respuesta al agregado de N, es baja.

El uso de este indicador, permitió identificar un 66% de los sitios (100% - [27% + 7%] de los cuadrantes A y B respectivamente), que responden a la fertilización nitrogenada, manteniendo un bajo porcentaje de sitios en el cuadrante B, que no responderían al agregado de N, que ratifican nuevamente, la confianza en el test.

El nivel crítico obtenido a Z-22, es menor que el obtenido a la siembra, lo que era de esperar, dado que la concentración de NO₃ en el suelo en este momento, es el balance entre el aporte que hace el suelo y el consumo por parte del cultivo creciendo sobre el mismo.

Para poder analizar a que se debe la dispersión observada por debajo del nivel crítico establecido, se separan los sitios según las diferentes dosis de N agregado a la siembra, como se observa en la figura 12.

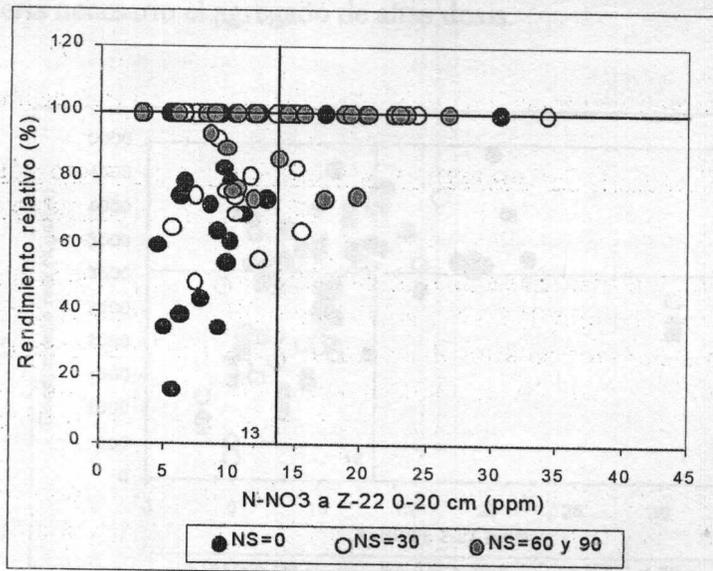


Figura 12: Relación entre N-NO3 a Z-22 y el rendimiento relativo según dosis a la siembra

En la misma , se puede observar que la dispersión por debajo del rango crítico, obedece a las diferentes dosis de N a la siembra.

Del análisis de esos sitios, se desprende que el 55% de los mismos, no recibieron N a siembra, disminuyendo sensiblemente este porcentaje, a medida que se incrementaron las dosis de N a siembra, hasta 90 unidades, correspondiéndoles el 29% para los que recibieron 30 unidades y 16% con 60 y 90 unidades de N.

Por lo tanto, el análisis de esta figura permite concluir que con agregados de altas dosis a siembra, se perdería la relación entre este indicador y el rendimiento relativo.

4.6.2) Relación entre el rendimiento real y nivel de N-NO3 a Z-22, sin N a la siembra y diferentes dosis de N a Z-22

Al analizar la respuesta en rendimiento real, en función del nivel de NO3 a Z-22 sin agregados de N a la siembra y diferentes dosis a Z-22 (figura 13), se observa que la misma sigue siendo diversa para los sitios con valores de nitratos por debajo del nivel crítico de 13 ppm en este estadio, y que algunos sitios logran obtener altos rendimientos aún sin N a la siembra, mediante el agregado del mismo a Z-22.

Esto corrobora que si el problema es la deficiencia de nitrógeno, estando el resto de las variables bien ajustadas, Z-21-22 sería la etapa clave para identificar esas deficiencias

(Hoffman et al., 1993), y que si bien es importante contar con un adecuado nivel de N a la siembra, no sería necesario el agregado de altas dosis.

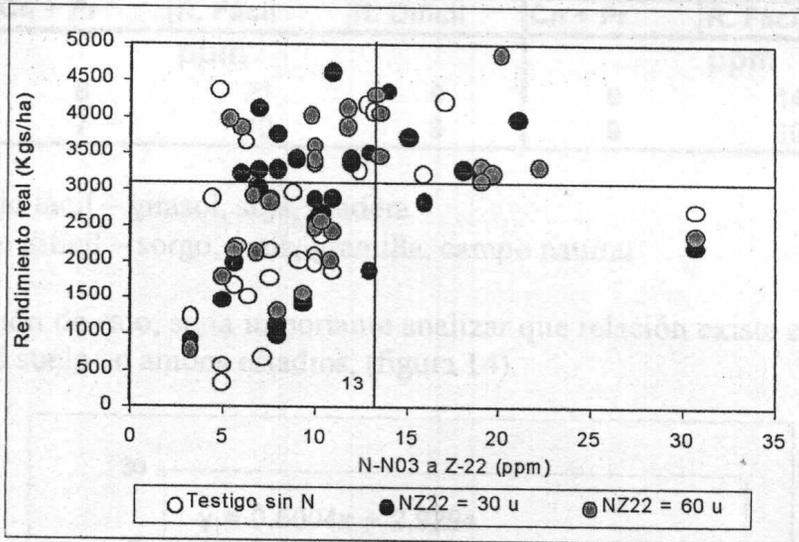


Figura 13: Relación entre N-NO3 a Z-22 y rendimiento real, sin agregados de N a la siembra y diferentes dosis de N a Z-22

Hemos visto que el contenido de NO3 en el suelo, junto a otro conjunto de variables de manejo (tipo de suelo, largo de barbecho, etc.), afectan el potencial de rendimiento, y se relacionan muy estrechamente con la respuesta al nitrógeno, que permita alcanzar altos rendimientos.

Al observar el cuadro N° 7, vemos que el contenido de NO3 en el suelo a siembra y Z-22, presentó valores similares en ambos tipos de suelos (salvo en la situación en suelo liviano sobre rastrojo fácil, ya explicado anteriormente), asociándose más bien al tipo de rastrojo, las diferencias encontradas, registrándose incluso la misma variación en valores absolutos, según las distintas situaciones de manejo anterior.

Cuadro N° 7: Detalle de la concentración de N-NO3 en ppm según tipo de suelos y manejo anterior

SUELO	LIVIANO			PESADO		
ANTEC.	Cn + Pr	R. Fácil	R. Difícil	Cn + Pr	R. Fácil	R. Difícil
	ppm			ppm		
N-NO3 S	8	21	9	9	14	11
N-NO3Z-22	7	12	9	9	10	11

NOTA: Rastrojo fácil – girasol, soja, pradera
 Rastrojo difícil – sorgo, maíz, gramilla, campo natural

En función de esto, sería importante analizar que relación existe entre el contenido de nitratos en el suelo en ambos estadios, (figura 14).

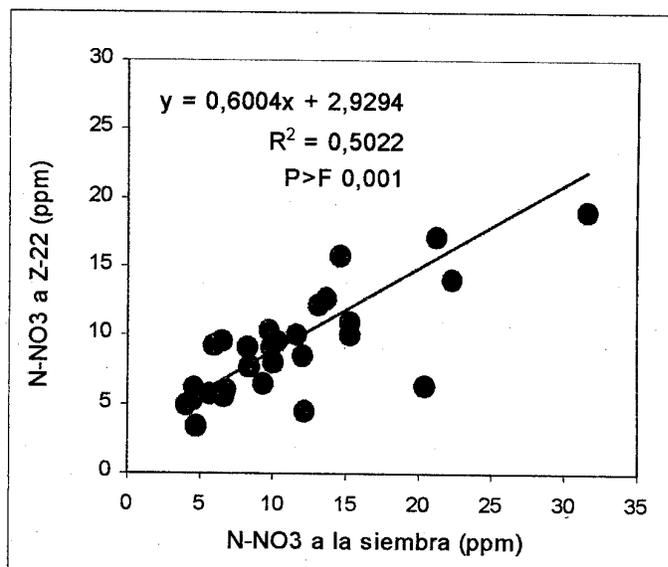


Figura 14: Relación entre N-NO3 a la siembra y Z-22 para sitios del Sur y Norte

En la misma se puede ver, que en general, un contenido elevado de N en el suelo a siembra, puede mantenerse con pocos cambios, hasta el estadio Z-22, el cual ocurre normalmente en torno a los 40 días post-siembra, siendo probable también, que de llegar con un bajo contenido de NO3 a la siembra, esta situación de deficiencia también se registre en Z-22.

Esta relación tan estrecha entre ambos momentos, permite concluir que con el dato de nitratos obtenido a la siembra, es posible estimar la cantidad de N disponible a Z-22.

Cabe acotar que 1996, año en el cual se realizaron estos ensayos, fue desde el punto de vista climático, más bien seco (especialmente en los sitios correspondientes a la zona Norte), con registros pluviométricos escasos entre siembra y Z-22, que no suponen un intenso lavado de nitratos en profundidad, por lo que, la dispersión que se observa en la figura 14, podría estar dejando en evidencia, una diferente capacidad de aporte de N de los suelos.

4.7) PROTEINA EN GRANO EN RESPUESTA AL AGREGADO DE NITROGENO

Tal cual se reseñara en la revisión bibliográfica, el hecho de que el destino principal de la cebada cervecera producida en el Uruguay, sea la exportación (como grano y como malta), y que exesos de N pueden afectar negativamente la calidad industrial del producto (Hoffman y Ernst, 1992), resalta la importancia de analizar la incidencia de este nutriente sobre el porcentaje de proteína en grano.

En la figura 15, podemos observar que, aumentos en las dosis de N a la siembra hasta 90 unidades, y sin agregados de N a Z-22, significaron también en la mayoría de los sitios, incrementos en el porcentaje de proteína en grano, en tanto que, en algunos sitios, si bien se registran incrementos en dicho porcentaje ante el aumento en las dosis de N, los mismos ya son elevados.

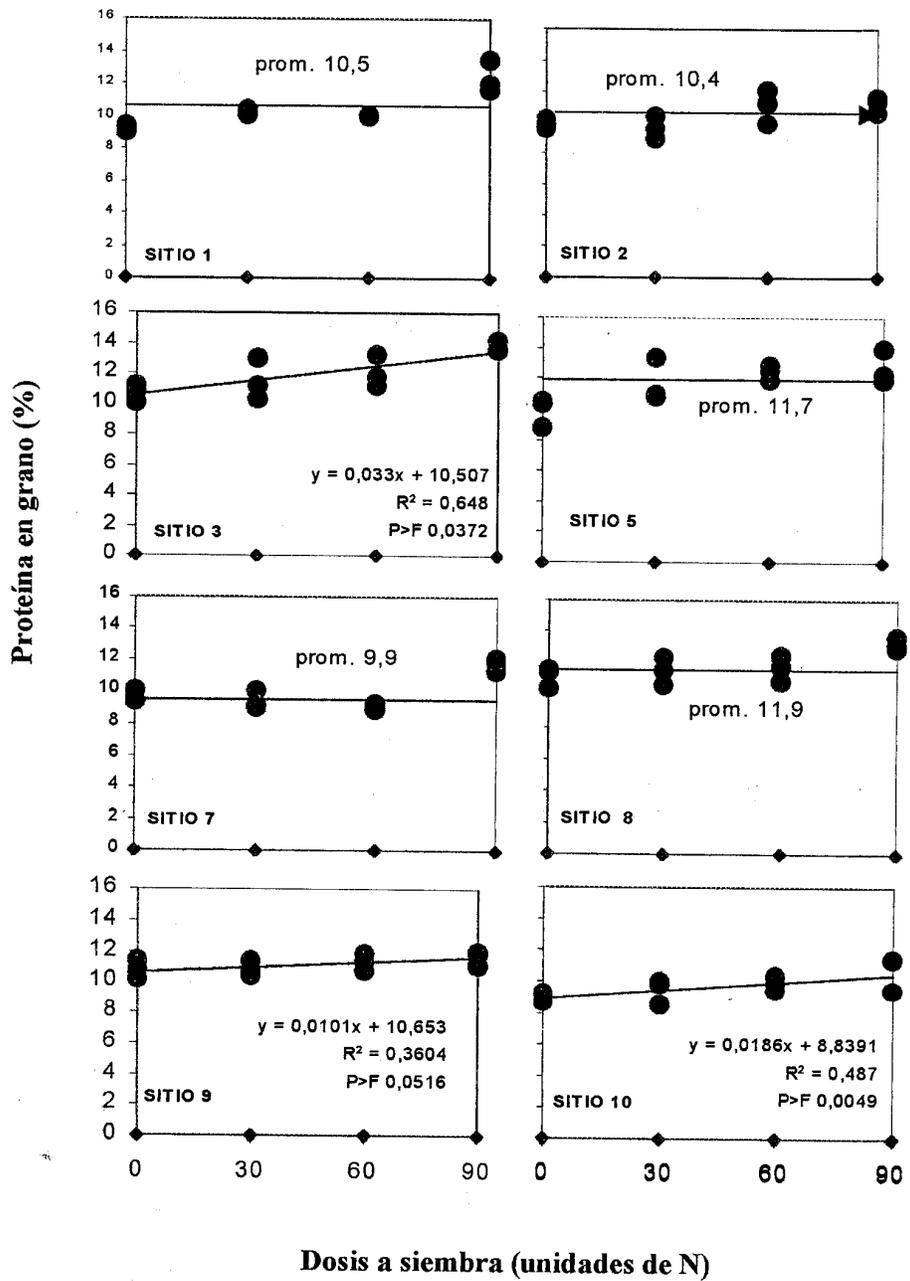


Figura 15: Respuesta en porcentaje de proteína en grano, a diferentes dosis de fertilizante N a la siembra y Z-22 = 0, para sitios del Sur (1 a 21) y del Norte (101 a 112):

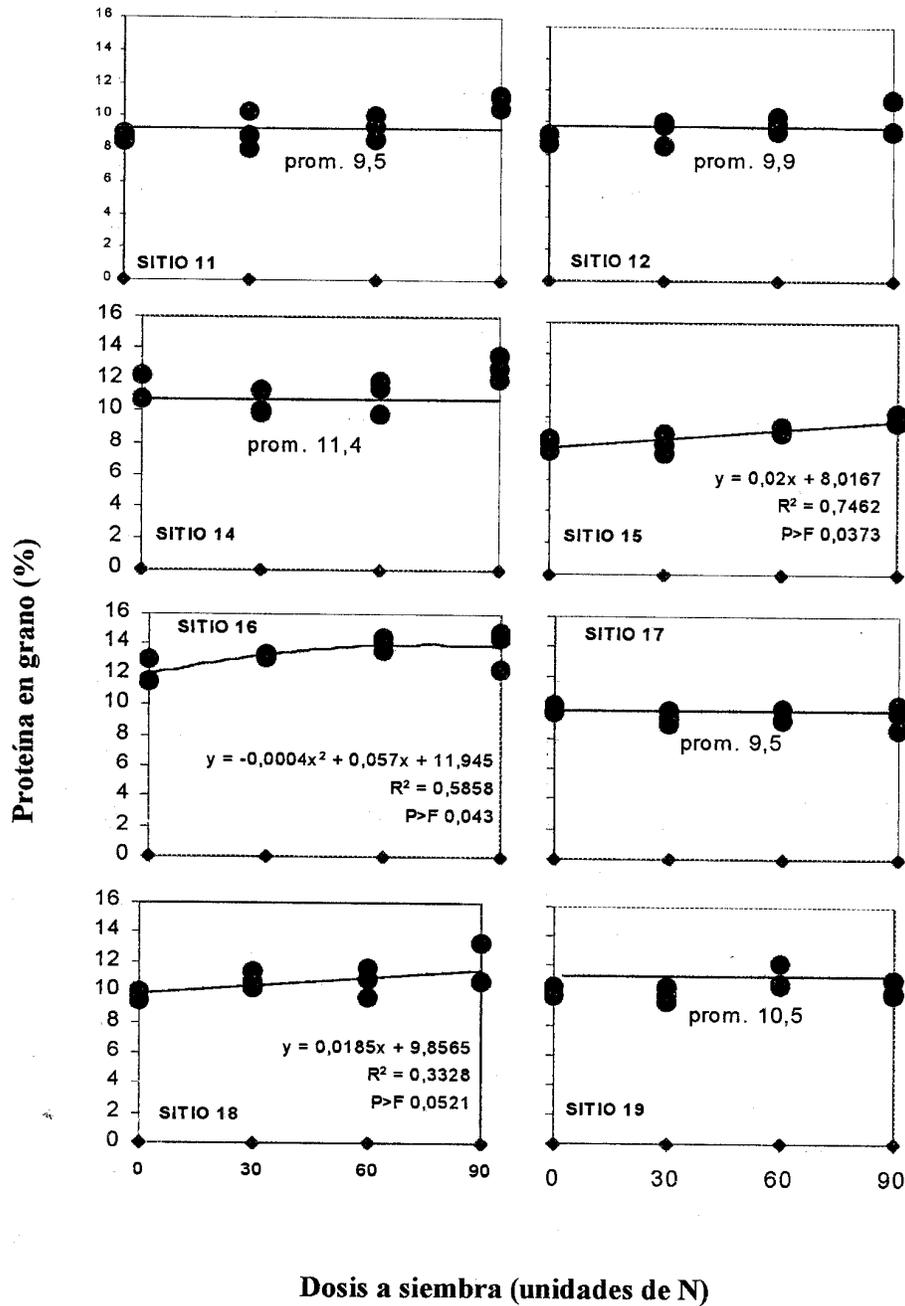
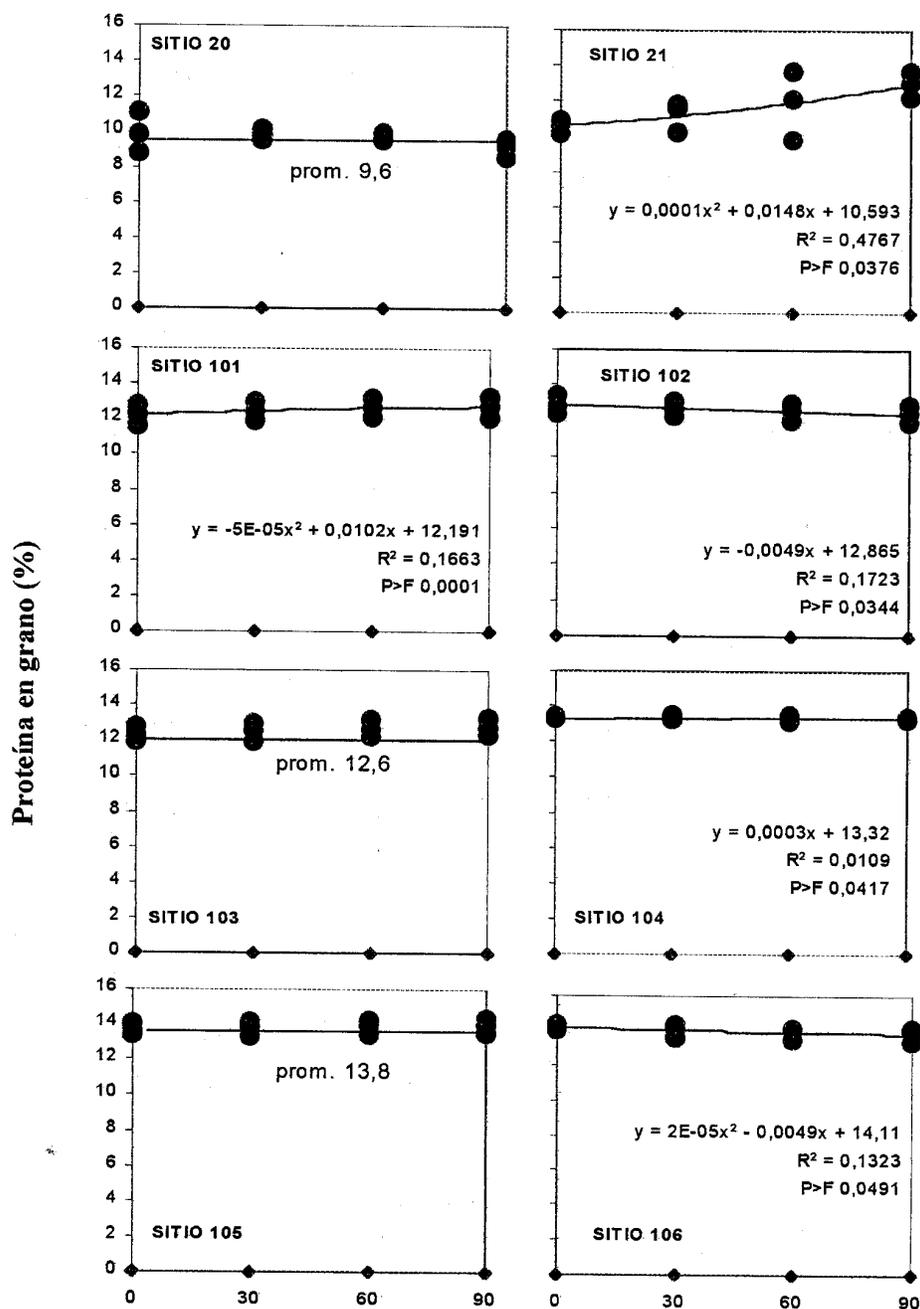


Figura 15: Respuesta en porcentaje de proteína en grano, a diferentes dosis de fertilizante N a la siembra y Z-22 = 0, para sitios del Sur (1 a 21) y del Norte (101 a 112):



Dosis a siembra (unidades de N)

Figura 15: Respuesta en porcentaje de proteína en grano, a diferentes dosis de fertilizante N a la siembra y Z-22 = 0, para sitios del Sur (1 a 21) y del Norte (101 a 112):

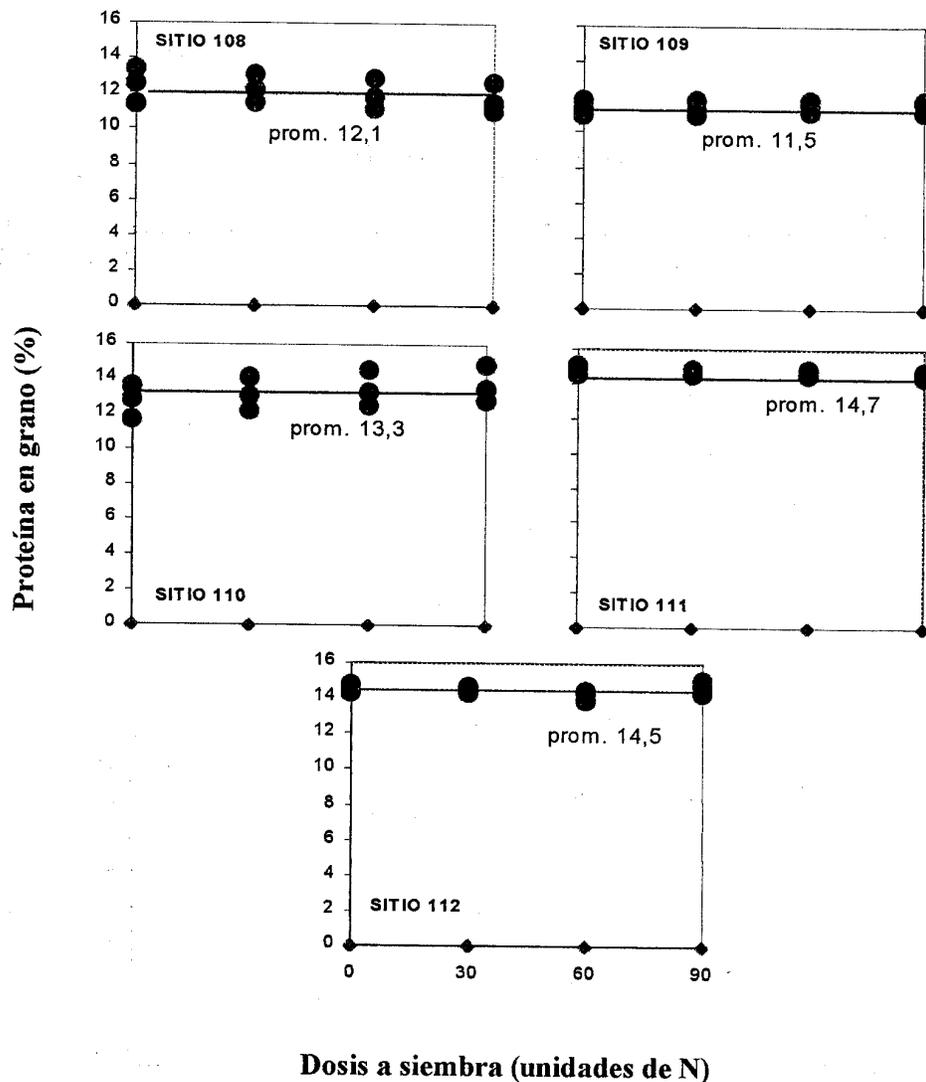


Figura 15: Respuesta en porcentaje de proteína en grano, a diferentes dosis de fertilizante N a la siembra y Z-22 = 0, para sitios del Sur (1 a 21) y del Norte (101 a 112):

Es importante destacar que un 41% del total de sitios, presentan contenidos de proteína superiores al 12%, sin agregados de N. Todos los sitios del Norte se encuentran en esta situación, lo que obedece a los bajos rendimientos alcanzados en todos ellos, donde solo dos sitios, logran obtener rendimientos superiores a los 2500 kgs/ha, incluso sin superar los 3000 kgs/ha.

Para los sitios de la zona Sur esto se observa solamente en dos sitios, uno de los cuales presenta similar situación a los del Norte, teniendo el restante una respuesta en rendimiento, negativa y decreciente por encima de las 30 unidades de N a la siembra.

Esto estaría de acuerdo con lo que sostiene Baethgen, (1992^a), acerca de que pueden darse altos contenidos de proteína en grano sin agregados de fertilizante N, lo que podría deberse a altos valores de disponibilidad de N en el suelo a lo largo de todo el ciclo de crecimiento del cultivo, o al empleo de variedades que no presenten altos potenciales de rendimiento y/o de respuesta al N.

También podemos observar que existe un número de sitios (27%), que responden al agregado de N, incluso a altas dosis, manteniendo los porcentajes de proteína dentro de los límites establecidos por la industria.

Esta información anterior es consistente, con lo que señalan varios autores, en relación a que la fertilización N tiende a incrementar el contenido de proteína en el grano (Clancy; Tillman; Pan y Ulrich, 1991; Baethgen, 1992^a)

Por lo tanto, si el N produce un gran aumento en el rendimiento, habrá un pequeño o ningún efecto en el porcentaje de proteína, pero si es reducido, el incremento en proteína será mayor, por lo que y según Mac Beath y Toogood, cit. por Bishop et al., (1971); cit. por Barbe; Hoffman; Hughes y Uhlig, (1989); los aumentos del contenido proteico del grano, dependerán del incremento logrado en producción.

En la figura 16, se corroboran estas afirmaciones, pudiéndose observar que a medida que se incrementan los rendimientos, disminuyen los porcentajes de proteína en grano, o en su defecto, que los mayores porcentajes de proteína en grano, se dieron en aquellos sitios donde se registraron los menores rendimientos. Pero cuando se analizan los datos estadísticamente, vemos que solo el 22% de la variación en proteína, estaría siendo explicado por la variación en rendimiento.

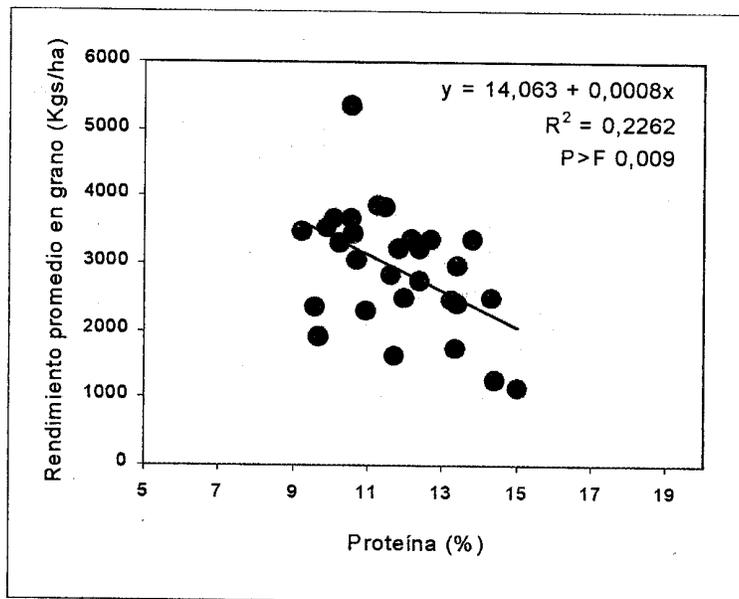


Figura 16: Relación entre el porcentaje de proteína en grano y el rendimiento promedio en grano (Kgs/ha)

Al analizar la relación existente entre la eficiencia del agregado de N, con los porcentajes de proteína en grano, como se aprecia en la figura 17 a continuación, queda en claro la asociación entre el porcentaje de proteína del grano de Cebada y la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado para producir grano.

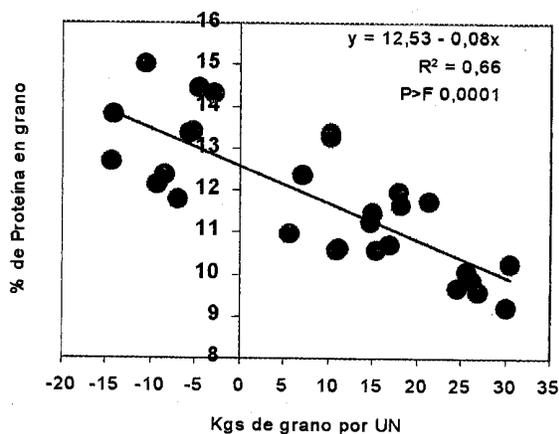


Figura 17: Relación entre la eficiencia en kgs de grano/UN y el porcentaje de proteína en grano

Podemos constatar claramente que los porcentajes de proteína en el grano, aumentan a medida que disminuye la eficiencia en el uso del fertilizante N, estando el 66% de la variación en el porcentaje en proteína, explicado significativamente por la variación en la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado para producir grano. También existe una correlación alta y negativa entre estas dos variables (($R = -0,81$; $P > F 0.0001$), que confirma aún más lo expresado.

Baethgen, (1992^a), trabajando en una red de experimentos de fert. Nitrogenada de cebada cervecera (1989), sostiene que el porcentaje de proteína del grano de Cebada se mantiene o incluso disminuye, en aquellas situaciones donde el fertilizante es eficientemente utilizado para producir grano.

4.7.1) Contenido de proteína en grano para los sitios con y sin respuesta al agregado de N en siembra y Z-22, en función del contenido de nitratos en el suelo

Se pretende saber ahora, como es el contenido de proteína final para aquellos sitios que respondieron o no al agregado de nitrógeno, situación que se puede observar en las figuras 18 y 19 a continuación.

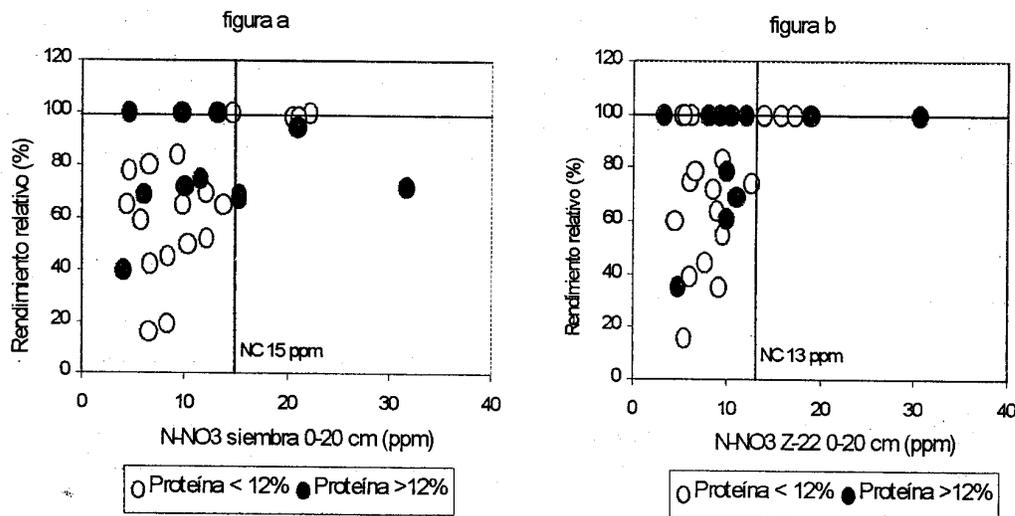


Figura 18: Relación entre Rendimiento relativo y N-NO3 a la siembra y Z-22, según contenido en proteína (%) mayor o menor a 12% sin agregado de N

En la figura 18a y 18b se observa que, sin agregados de N, la mayor parte de los sitios (48% y 41%) con valores de N-NO3 por debajo de los niveles críticos establecidos para ambos momentos, en 15 y 13 ppm respectivamente, no tuvieron dificultades con los contenidos de proteína en grano necesarios para malteo

Se observa que los sitios que presentan baja respuesta al nitrógeno, son aquellos con rendimientos en grano muy bajos y con los niveles de proteína más altos, corroborándose una vez más lo sostenido anteriormente, que los mayores porcentajes de proteína en grano, se dan en aquellos sitios donde se registran los menores rendimientos.

Cuando analizamos lo mismo que la figura anterior, pero con el agregado de nitrógeno a siembra y Z-22 (dosis óptima estimado por los modelos de regresión), como se ve en la figura 19 a y b, más del 50% de los sitios, superan el 12% de proteína en grano, límite establecido por la industria.

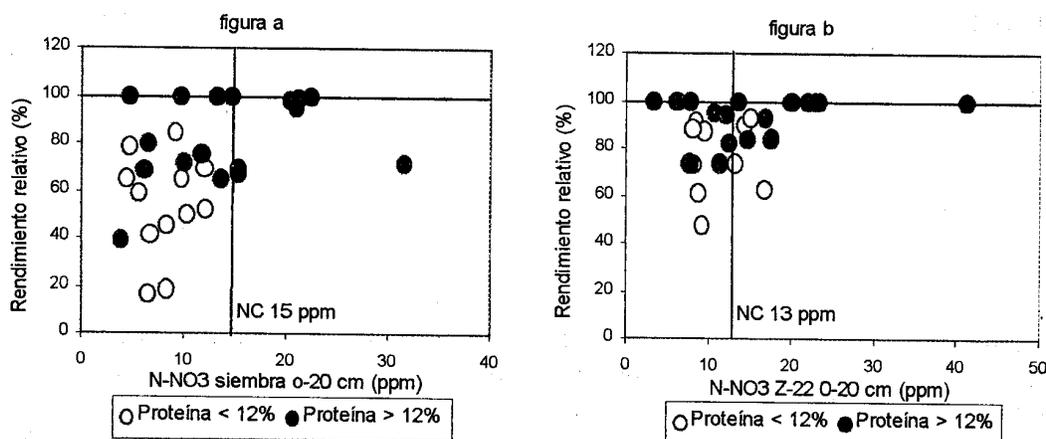


Figura 19: Relación entre N-NO3 a la siembra y Z-22 con Rendimiento relativo, con agregado de N a siembra y Z-22(diferentes dosis), según contenido en proteína (%) mayor o menor a 12%

Esta información ratifica las relaciones encontradas entre incrementos de rendimiento y eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado con el porcentaje de proteína en grano, dado que el mayor porcentaje de los sitios que superan el 12% de proteína, corresponden a la zona Norte, los que como se dijo anteriormente, no lograron superar en su mayoría los 2500 kgs/ha.

Por lo tanto, vemos que si se trabaja con los niveles óptimos de N, en muchos de los sitios, se exceden los porcentajes de proteína por encima del 12%.

4.8) MAGNITUD Y EFICIENCIA DE LA RESPUESTA AL AGREGADO DE N A SIEMBRA Y Z-22

Hasta ahora se ha analizado como inciden los niveles de nitratos a siembra y Z-22, con y sin agregados de N, en el rendimiento en grano y el porcentaje de proteína. También se analizó, la relación entre el rendimiento final y la eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado para producir grano con el porcentaje de proteína del mismo.

Corresponde ahora, analizar la relación entre la concentración de NO₃ a siembra y Z-22 y sus niveles críticos establecidos, con la eficiencia de uso en kilogramos de grano y la respuesta al agregado de N, como se observa en las siguientes figuras.

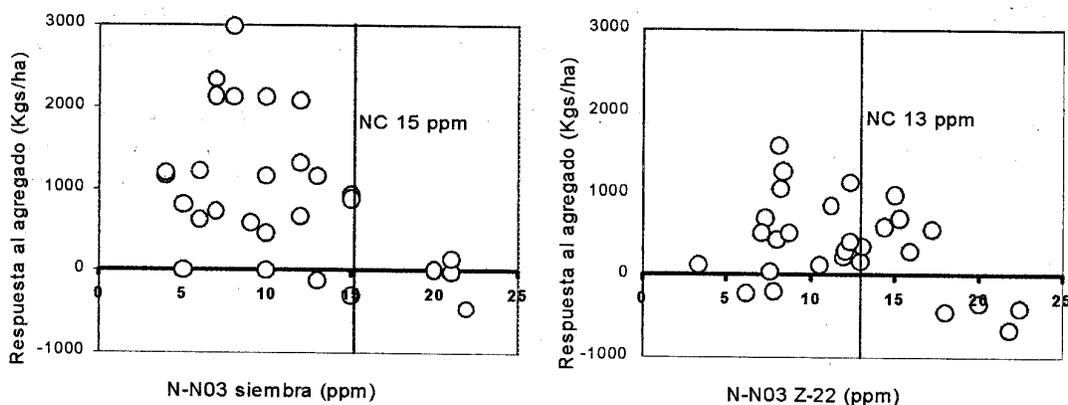


Figura 20: Relación entre el N-NO₃ a la siembra y Z-22 con la respuesta al agregado a la dosis óptima física de N a la siembra y Z-22

De la figura 20 se desprende claramente, que las situaciones de mayor respuesta al agregado de N, a siembra y Z-22, se dan con los niveles más bajos de nitratos en el suelo, inferiores a los niveles críticos establecidos para ambos estadios.

Esta respuesta en kgs de grano/ha al agregado de la dosis óptima física de N, comienza a decrecer, a medida que los valores de NO₃ del suelo se van aproximando al nivel crítico, llegando incluso a obtener respuestas negativas cuando el tenor de nitratos en el suelo, supera esos valores críticos, siendo este descenso en la respuesta a N, más pronunciado a Z-22 que a la siembra.

Anteriormente veíamos, que al trabajar con la dosis óptima de N a Z-22 el porcentaje de proteína en grano, se elevaba por encima del 12%.

En las situaciones de baja respuesta al agregado de N, queda en evidencia que hay otras situaciones de manejo que impiden la concreción de un potencial de producción, no solucionable solamente ante el agregado de N.

En el caso de las respuestas negativas, las mismas se dan con tenores de nitratos por encima de los niveles críticos, y estarían corroborando lo ya expresado acerca de los agregados de N en situaciones de suficiencia de este nutriente en el suelo.

4.9) EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL N APLICADO

4.9.1) Según NO₃ en el suelo a siembra y Z-22

Podemos apreciar claramente en la figura 21^a y b, que la eficiencia de utilización del nitrógeno medida a través de los kilogramos de grano que se obtienen por unidad de nitrógeno agregado, disminuye notoriamente en la medida que la concentración de nitratos en ambos estadios, va aumentando, obteniéndose incluso respuestas negativas, cuando el contenido de los mismos, está por encima de los niveles críticos establecidos.

Se constata la similitud de la relación entre la magnitud y la eficiencia en el uso del N, con los valores de NO₃ a siembra y Z-22, lo que confirma a este indicador y sus valores críticos encontrados para ambos momentos, como un buen predictor de respuesta al agregado de este nutriente.

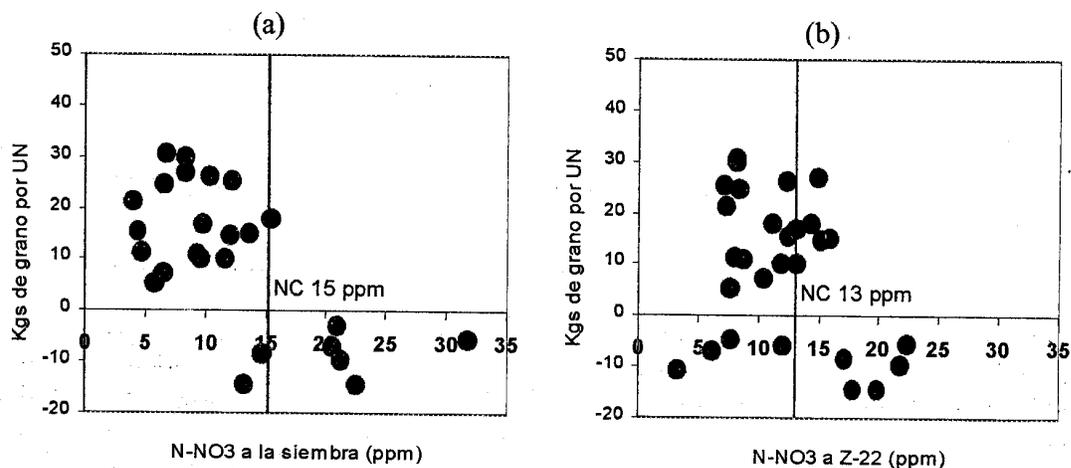


Figura 21: Eficiencia en kgs/grano por unidad de nitrógeno según nitratos a la siembra y Z-22

Corresponde mencionar finalmente, que la eficiencia promedio de utilización del nitrógeno obtenida en este trabajo, fue promedialmente de 10 kgs/UN, la cual se ubica por debajo del promedio obtenido en diversos trabajos nacionales, mencionados en la revisión bibliográfica.

4.10) AGRUPACIÓN DE EXPERIMENTOS POR EL NIVEL DE RESPUESTA AL N A LA SIEMBRA EN RENDIMIENTO Y PROTEÍNA

En el cuadro N° 8 se resume la información generada en el presente trabajo, sobre el efecto de los diferentes tratamientos empleados, en el rendimiento y el porcentaje de

proteína en el grano, de acuerdo a la concentración de NO₃ presente en el suelo en el momento de la siembra.

Cuadro 8: Agrupación de experimentos según respuesta al N a la siembra y proteína

Resp. Es siembra	Nro. De ensayos	N-NO ₃ siembra	Testigo O UNS.	Agregado en siembra			Fraccionar o diferir		
				30	60	90	0-30	30-30	60-30
0	6	17	3629	2899	.....	.....	3284	.....	.....
30	4	15	2231	2773	.....	.....	2639	.....	.....
60	7	12	2455	2991	3548	.....	.....	3238	.....
90	11	8	1867	2563	2999	3386	.....	3142	3306

Resp. Es siembra	Nro. De ensayos	N-NO ₃ siembra	Proteína Testigo O UNS.	Agregado en siembra			Fraccionar o diferir		
				30	60	90	0-30	30-30	60-30
0	6	17	11,2	12,1	.....	.....	13,0	.....	.....
30	4	15	11,9	12,7	.....	.....	13,0	.....	.....
60	7	12	10,4	10,7	11,5	.....	.....	11,0	.....
90	11	8	10,2	10,3	10,5	11,3	.....	11,0	11,0

Al analizar el mismo, se comprueba que aquellos sitios que presentan niveles de N-NO₃ a la siembra, iguales o superiores al nivel crítico establecido para ese momento, de 15 ppm, no obtuvieron ante el agregado de N, incrementos en rendimiento que justificaran el uso del mismo, llegando incluso a deprimirse el rendimiento ante ese agregado, situación que se mantiene si la fertilización se realiza a Z-22, en vez de hacerlo a la siembra.

Sucede lo mismo con los porcentajes de proteína en grano, los que se incrementan por encima del 12% (máximo permitido para malteo), ante el agregado de N en situaciones similares a las planteadas para el rendimiento.

Para el caso de los sitios con valores de NO₃ por debajo del nivel crítico establecido, el incremento en rendimiento, se mantiene hasta el agregado de 90 unidades de N, siendo mejor el fraccionamiento del fertilizante a agregar, en dos dosis iguales a siembra y Z-22, situación similar a lo que ocurre con el porcentaje de proteína en grano, en donde si bien se incrementa el mismo, este se mantiene dentro de los niveles exigidos para malteo.

En la medida que el contenido de NO₃ es menor, el rendimiento de los testigos es cada vez más bajo y mayor es la magnitud de la respuesta. Igual tendencia se observa en cuánto al nivel de proteína en grano, marcando la salvedad que cuando los niveles de N-NO₃ a la siembra son muy bajos, los niveles de proteína en grano si bien, se incrementan a dosis elevada, no superan el 12%.

4.11) NIVELES DE N-NO3 EN SUELO A SIEMBRA Y Z-22 Y SU RELACIÓN CON LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El número de espigas por m² (componente solamente relevado en los sitios del Norte), se asoció linealmente con el rendimiento relativo, no posibilitando establecer ningún nivel crítico.

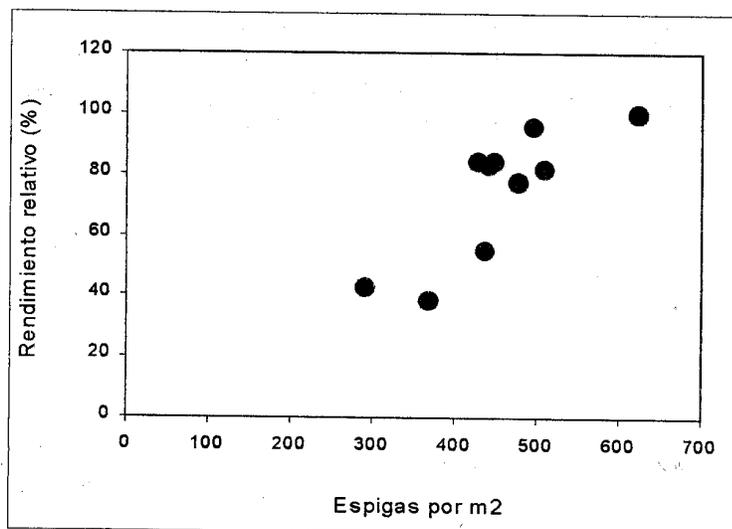


Figura 22: Relación entre el N° de espigas/m² y el Rendimiento relativo (%)

Tal como se aprecia en la figura 22, el incremento del N° de espigas/m², se relaciona estrechamente con el incremento en rendimiento relativo, lo que señala al número de espigas por m², como el componente que mejor explica los incrementos en rendimiento.

Lo anterior, está de acuerdo con lo que sostienen Ernst et al., (1991); Baethgen, (1991); cit por Hoffman; Ernst; Brassetti; Espasandín y Siri, (1992); acerca de que la información disponible para cebada, demuestra que las espigas por metro cuadrado, explican la mayor parte de las variaciones de rendimiento provocadas por el manejo.

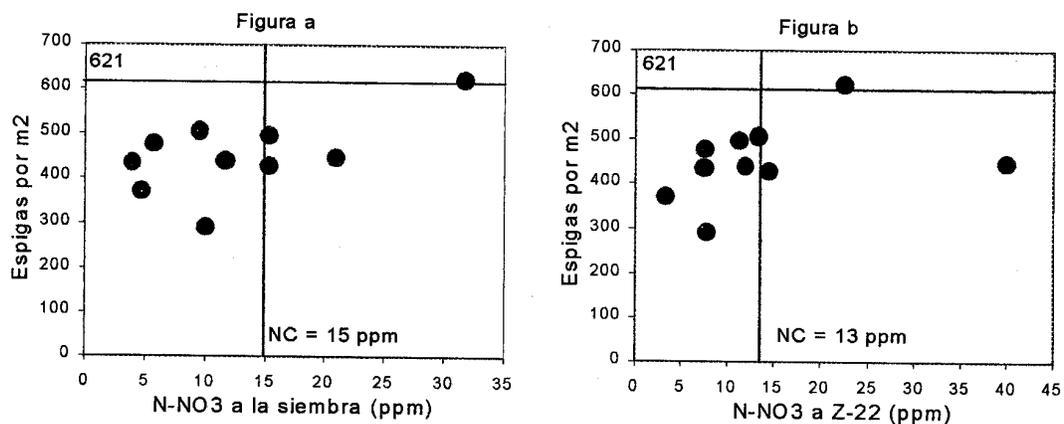


Figura 23: Relación entre espigas/m2 según concentración de nitratos a la siembra y Z-22

Cuando relacionamos este componente con la concentración de NO3 en el suelo a siembra, (figura 23^a), se observa que el número de espigas/m2 tendería a ser mayor, a medida que se incrementan los valores de nitratos en el suelo.

En tanto que a Z-22 (figura 23b), esta relación se mantendría hasta ciertos valores de nitratos en el suelo, tendiendo a disminuir el número de espigas/m2 ante altos tenores de nitratos en este estadio.

5) CONCLUSIONES

La magnitud de la respuesta a N en términos generales, fue superior a la siembra que en Z-22, existiendo también en ese estadio, una mayor diversidad en tipos de respuesta, encontrándose 31% de respuestas significativas a altas dosis de N, 10% negativas, 38% nulas y 20-21% a dosis medias (30 unidades). Casi la mitad de los sitios, no presentó respuesta.

De todos los indicadores estudiados, el que mejor se asoció con la respuesta al agregado de N tanto a siembra como a Z-22, fue la concentración de NO₃ en los primeros 20 cm del suelo.

Para ambos momentos estudiados, fue posible identificar niveles críticos que separan zonas de respuesta y no respuesta al agregado de N, de 15 y 13 ppm de N-NO₃ (0-20cm) para siembra y Z-22 respectivamente.

Excepto el contenido de materia orgánica en los primeros 20 cm del suelo, los demás indicadores analizados a la siembra (NH₄, N mineral total y Potencial de mineralización), no lograron mejorar el ajuste observado para NO₃.

Sin embargo, las relaciones encontradas entre alguno de estos indicadores con nitrato en el suelo, fueron elevados y significativos (Pot.Min. vs NO₃ - $r=0.70^{**}$, N min. Total vs NO₃ - $r=0.86^{**}$).

La separación por debajo del nivel crítico a la siembra en dos grupos establecidos en base a, tipo de suelos, historia de chacra, tipo de rastrojo y sistema de laboreo, permitiría mejorar la relación entre la respuesta al agregado de N a la siembra y NO₃ en el suelo.

La estrecha relación encontrada para este año entre el contenido de NO₃ en el suelo a siembra y Z-22, permitiría inferir que NO₃ en el suelo posibilitaría estimar la capacidad de aporte de N de un suelo en el tiempo.

El nivel de proteína en grano en un porcentaje elevado de sitios (48%), se mantuvo alto e independiente del agregado de N. Para los sitios restantes, el contenido de proteína en respuesta al agregado de N, tuvo relación con la eficiencia de la respuesta en grano al agregado de este insumo. Por encima de 17 kg de grano/UN el nivel de proteína se mantuvo siempre por debajo de 12%.

El número de espigas/m², apareció estrechamente relacionado con la respuesta en rendimiento al agregado de N a la siembra.

6) RESUMEN

La fertilización nitrogenada del cultivo de cebada cervecera en el Uruguay, continúa realizándose mayormente en base a criterios subjetivos, pese al importante volumen de información respecto al tema, generado en las últimas décadas. El objetivo de este trabajo, consistió en la evaluación de un conjunto de indicadores a la siembra, NO_3 , NH_4 , Materia orgánica, Nitrógeno mineral total y Potencial de mineralización de N, y NO_3 a Z-22 (inicio de macollaje), tendientes a determinar criterios objetivos para ajustar la fertilización nitrogenada en estos dos estadios, sin afectar la calidad industrial del grano. Para ello, se instalaron durante 1996, ensayos en 29 sitios pertenecientes a chacras comerciales, en la zona de mayor producción de cebada cervecera del país (Departamentos del Litoral-Oeste, Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia), seleccionados de acuerdo a los tipos de suelo, de rastrojo, historia de chacra y sistemas de laboreo, para lograr la variabilidad necesaria. Se aplicaron 9 tratamientos, que consistieron en el agregado de 0, 30, 60 y 90 unidades de nitrógeno como urea a la siembra, y 0,30 y 60 unidades a Z-22, con las correspondientes combinaciones entre ellas. Existió una tendencia significativa en la mayoría de los sitios, a aumentar el rendimiento en grano en forma lineal (16 sitios), ante el agregado de diferentes dosis a la siembra, que se mantuvo incluso con dosis de hasta 90 unidades. El Rendimiento relativo, fue el índice de magnitud de respuesta a N empleado en este trabajo, el que se calculó relacionando el rendimiento máximo real alcanzado en cada sitio a cualquier nivel de nitrógeno, con el rendimiento calculado según la función a dosis cero de nitrógeno. La relación del mismo con el NO_3 a siembra, a 20 cm de profundidad, permitió identificar mediante el empleo de la metodología de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1965), el nivel crítico que separa las situaciones de respuesta de las de no respuesta a la fertilización N, que se situó en torno a las 15 ppm de N- NO_3 , y fue el indicador que mostró el mejor nivel de ajuste, identificando el 76% de los sitios con respuesta a N. Los demás indicadores evaluados en este momento, no mejoraron la predicción de respuesta a la fertilización N, obtenida al usar el NO_3 como indicador. Se obtuvieron relaciones y correlaciones significativas entre el NO_3 con el Potencial de mineralización y el Nitrógeno mineral total, de $R^2 = 0,53$ y $0,78$ y $r = 0,70$ y $0,86$ respectivamente, que posibilitarían el empleo de los mismos como complementarios y no sustitutivos del test de nitratos. Dado que la magnitud de la respuesta al agregado de N en cada sitio, no depende solamente de los niveles de nitrato en el suelo a la siembra, se separaron los sitios con concentraciones de NO_3 a siembra, por debajo del nivel crítico establecido (15 ppm), en grupos de alta y baja respuesta a N, atendiendo a un conjunto de variables de manejo (tipo de suelo, historia de chacra, tipo de rastrojo y sistema de laboreo), que permitió identificar nuevos niveles críticos para esas situaciones, de 21 y 10 ppm respectivamente, lo que mejora sensiblemente la fortaleza o capacidad de predicción del uso de NO_3 como indicador de respuesta al agregado de N. La respuesta en rendimiento, al agregado de diferentes dosis de N a Z-22, no fue de gran magnitud y se dio mayormente hasta una dosis de 30 unidades, para decrecer ante agregados superiores. El NO_3 fue el único indicador evaluado en este estadio, presentando también al igual que para la siembra, una relación muy estrecha con el rendimiento relativo. También se estableció un nivel crítico de 13 ppm, que permitió identificar un 66% de los sitios con respuesta a N, mediante el empleo de la misma tecnología. Al relacionar la concentración de NO_3 que existe en ambos momentos, siembra

y Z-22, se comprobó significativamente ($R^2 = 0,5$; $P > F = 0,001$), que generalmente, contenidos elevados de N en el suelo a siembra, se mantienen con pocos cambios hasta Z-22, siendo probable que de llegar con bajos contenidos de NO_3 a siembra, se registre esta misma situación a Z-22. En relación al porcentaje de proteína en grano, este se incrementó en la mayoría de los sitios, concomitantemente con el aumento de las dosis de N a la siembra, mostrando una correlación alta y negativa, $R^2 = -0,81$; $P > F = 0,0001$, con la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado para producir grano. Finalmente, el componente del rendimiento que mejor se relacionó con el Rendimiento relativo, fue el número de espigas por metro cuadrado, mostrando también una estrecha relación con las concentraciones de NO_3 a siembra y Z-22.

7) BIBLIOGRAFIA

- 1) **ALEXANDER, M.** 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York. John Wiley and Sons, Inc. pp. 128-147, 225-271.
- 2) **ALLEY, M.M.; SCHARF, P.; BRANN, D.E.; BAETHGEN, W.E.; HAMMONS, J.L.** 1996. Nitrogen management for Winter Wheat: Principles and recommendations in Virginia Cooperative Extension 424-026 August
- 3) (_____.); **PRIDGEN, T.H.; BRANN, D.E.; HAMMONS, J.L.; MULFORD, R.L.** 1997. Nitrogen Fertilization of Winter Barley: Principles and Recommendations in Virginia Cooperative Extension 424-801 December
- 4) **ARIAS, G.** 1991. Calidad Industrial de Cebada Cervecera. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie Técnica Nro. 18. 54 p.
- 5) **BAETHGEN, W.E.** 1992a. Fertilización Nitrogenada de Cebada Cervecera en el Litoral Oeste del Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie Técnica Nro. 24. 59 p.
- 6) (_____.) 1992b. Investigaciones Agronómicas. Dinámica del nitrógeno en sistemas de rotación cultivos-pasturas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Nro. 1 Tomo 1. 140 p.
- 7) (_____.) 1996. El N en los sistemas agrícolas-ganaderos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). _Serie Técnica Nº 76. 167 p.
- 8) **BARBE, E.J.; HOFFMAN, E.M.; HUGHES, A.; UHLIG, M.H.** 1989. Tecnología en cultivos de invierno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 131 p.
- 10) **BLACKMER, A.M.; POTTKER, D.; CERRATO, M.E.; WEBB J.;** 1989. Correlations between Soil Nitrate Concentrations in Late Spring and Corn Yields in Iowa. In Journal of Production Agriculture 2:103-109
- 11) (_____.); **MORRIS, T.F.; BINFORD, G.D.** 1992. Predicting N Fertilizer Needs for Corn in Humid Regions: Advances in Iowa. In B.R. Bock and K.R. Kelley eds. National Fertilizer and Environmental Research Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, AL 35660. Bull Y-226:57-72
- 12) **BINFORD, G.D., BLACKMER, A.M., CERRATO, M.E.** 1992. Relationship between Corn Yields and Soil Nitrate in Late Spring. In Agronomy Journal 84: 53-59.
- 13) **BORGHI, E., WORNICOW, C.G.,** 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 53 p.

- 14) **BULMAN, P.; SMITH, D.L. 1993.** Yield and Yield Component Response of Spring Barley to Fertilizer Nitrogen *In* *Agronomy Journal* 85:226-231
- 15) **BUNDY, L. G., MEISINGER, J. J. 1994.** Nitrogen availability indices. *In* R. W. Weaver et al. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties.* Madison, WI, SSSA. pp. 951-981. (Agronomy Monography N° 5).
- 16) (_____.); **AND MEISINGER, J.J., 1994.** Nitrogen availability indices. p 951-984. *In* R. W. Weaver et al. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties.* SSSA Book Series N° 5, Madison, WI
- 17) **CASTRO, A. 1997.** Cebada. Montevideo, Facultad de Agronomía. 124 p.
- 18) **CATE, R.B., NELSON, L.A., 1965.** A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. North Carolina State Univ. Int. Soil Testing Series Tech. Bull N° 1.
- 19) **CLANCY, J.A.; TILLMAN, B.A.; PAN, W.L.; ULRICH, S.E.; 1991.** nitrogen Effects on Yield and Malting Quality of Barley Genotypes under No-till. *In* *Agronomy Journal* 83:341-346
- 20) **CAPURRO, E.; BAETHGEN, W.; TRUJILLO, A.; BOZZANO, A.; 1982.** Rendimientos y respuesta a NPK de cebada cervecera. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger", Estación experimental agropecuaria "La Estanzuela". *Miscelánea N° 43.* 21 p.
- 21) **CARRIQUIRY, M.A. 1998.** Potencial de mineralización de nitrógeno de los suelos del área agrícola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 102p.
- 22) **CASANOVA, O.N. 1992.** Principales procesos de pérdida de nitrógeno. Catedra de Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.
- 23) **ERNST, O.; 1991** Acción del laboreo en la mineralización de nitrógeno del suelo, in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA CERVECERA (IIa, 1991c, Colonia – Uruguay). Pp. 133-137
- 24) (_____.); **HOFFMAN, E.; MAILHOS, M.; URRUTY, F. 1992** Efecto del manejo sobre el rendimiento y calidad de grano en cebada cervecera in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA (IIIa, 1992a, Minas - Uruguay). Pp. 108-116
- 25) **EVANS, L.T. 1983.** Fisiología de los cultivos. 1ª. Argentina, Editorial Hemisferio Sur S.A. 402 p.

- 26) **FOX, R. H., PIEKIELEK, W. P. 1978.** Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Science Society of America Journal* 42: 757-750.
- 27) (_____.), **PIEKIELEK, W. P. 1984.** Relationship among anaerobically mineralized nitrogen, chemical indexes, and nitrogen availability to corn. *Soil Science Society of America Journal* 48:1087-1090.
- 28) (_____.); **SHENK, J.S.; PIEKIELEK, W.P.; WESTERHAUS, M.O.; TOTH, J.D.; KIRSTEN, E.M. 1993.** Comparison of Near-Infrared Spectroscopy and Other Soil Nitrogen Availability Quick Tests for Corn in *Agronomy Journal* 85:1049-1053
- 29) **GARCIA, A. 1992** Manejo intensivo de cebada cervecera: potenciales de rendimiento in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA (IIIa, 1992b, Minas - Uruguay). Pp. 24-31
- 30) (_____.). **1993a.** Fertilización N y factibilidad del diagnóstico foliar en cebada cervecera in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA (IV, 1993, Palmar - Uruguay). Trabajo Nro. 9.
- 31) (_____.). **1993b.** Respuesta a nitrógeno y potencialidad de rendimiento en cebada cervecera in Jornadas de Cultivos de Invierno. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Abril. pp. 29-35
- 32) (_____.). **1994.** Manejo y fertilidad de suelos; El N en Ecosistemas agrícolas, su dinámica y disponibilidad en el sistema suelo-planta. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie Técnica Nro. 42. 98 p.
- 33) (_____.). **1998.** Manejo de la Fertilización Nitrogenada en Trigo y Cebada. Proyecto de Difusión y Transferencia: "Fortalecimiento de la Unidad Experimental y Demostrativa de Young". Edición Plan Agropecuario. Cartilla Nro. 11. 8 p.
- 34) **GIANELLO, C. J., BREMNER, J. M. 1986a.** Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17:215-236.
- 35) (_____.); **BREMNER, J. M. 1986b.** A simple chemical method of assessing potentially mineralizable organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17: 195-214.
- 36) (_____.); **BREMNER, J. M. 1988.** A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19: 1551-1568.
- 37) **GOH, K. M., HAYNES, R. J. 1986.** Nitrogen and agronomic practice. In R. J. Haynes (ed.) *Mineral nitrogen in the plant soil system*. Madison, WI, Academic Press. pp. 379-442.

- 38) **GUIDO Y IEUDIKOW. 1989.** Alternativas técnicas para la producción de trigo. Relevamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.
- 39) **HOFFMAN, E.; ERNST, O.; MARTINO, M.;1991** Efecto de la defoliación sobre el rendimiento en grano y calidad industrial de cebada cervecera in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA CERVECERA (IIa, 1991a, Colonia – Uruguay). Pp. 144-151.
- 40) (_____); **ERNST, O.; BRASSETTI, D.; ESPASANDIN, A.; SIRI, G.;1992** Respuesta de dos variedades de cebada cervecera al espacio disponible por planta in Reunión Nacional de Investigadores de Cebada (IIIª, 1992a, Minas – Uruguay). Pp. 99-107.
- 41) (_____); **ERNST, O.; BRASSETTI, D.; ESPASANDIN, A.; SIRI, G.;1992** Modificación por manejo de la curva de crecimiento, su influencia sobre rendimiento, componentes y calidad industrial de cebada cervecera in Reunión Nacional de Investigadores de Cebada (IIIª, 1992b, Minas – Uruguay). Pp. 124-133.
- 42) (_____); **ERNST, O. 1996.** Refertilización en cebada cervecera. Revista CANGUE 6: 15-20
- 43) (_____); **SIRI, G.; ERNST, O.1996** Refertilización en cebada cervecera bajo siembra directa in Congreso de Cebada Maltera (II, 1996, Temuco – Chile). Pp. 193-202
- 44) (_____); **PERDOMO, C.; ERNST, O. 1997.** Fertilización Nitrogenada en Cultivos de Invierno. Revista CANGUE 10: 33-36
- 45) (_____); **ERNST, O., PERDOMO, C.; 1999.** Ajuste de la fertilización nitrogenada en trigo en función de indicadores objetivos y su efecto en rendimiento y calidad de grano. In Primer Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo. Mercedes. Pp. 19-27
- 46) **HONG, S.D.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. 1990.** Field evaluation of several chemical indexes of soil nitrogen availability in Plant and Soil 123: 83-88
- 47) **HUGHES, A.; CHARBONIER, R.;1991** Limitantes al potencial de rendimiento en una variedad nacional (FNC-1), in REUNION NACIONAL DE INVESTIGADORES DE CEBADA CERVECERA (IIa, 1991b, Colonia – Uruguay). Pp. 52-58
- 48) **JALIL, A., CAMPBELL, C. A., SCHOENAU, J., HENRY, J. L., JAME, Y. M., LAFOND, G. P. 1996.** Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. Soil Science Society of America Journal 60: 1954-1960.

- 49) **JARVIS, S. C., STOCKDALE, E. A., SHEPHERD, M. A., POWLSON, D. S. 1996.** Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. *Advances in Agronomy* 57: 187-235
- 50) **KEENEY, D. R. 1982.** Nitrogen availability indices. *In* A. L. Page et al. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Madison, WI, ASA and SSSA. pp. 711-733. (Agronomy Monography N° 9).
- 51) **KLAUSNER, S.D., REID, W.S., BOULDIN, D.R. 1993.** Relationship between Late Spring Soil Nitrate Concentrations and Corn Yields in New York. *In* *Journal of Production Agriculture* 6: 350-354.
- 52) **KORN, G.; VILA, O. 1983.** Variables de manejo en cebada Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 108 p.
- 53) **LOPEZ BELLIDO, L. 1991.** Cultivos herbáceos, Vol. I. Cereales. 1ª. Madrid, Ediciones Mundi Prensa. 539 p
- 54) **MEISINGER, J. J. 1984.** Evaluating plant available nitrogen in soil-crop systems. *In* R. D. Hauck (ed.). *Nitrogen in crop production.* Madison, WI, ASA, CSSA., and SSSA. pp. 391-416
- 55) (_____.); **MAGDOFF, F. R., SCHEPERS, J. S. 1992.** Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: underlying principles. *In* B. R. Bock, K. R. Kelley (eds.). *Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions.* Bull. Y226, Muscle Shoals, Alabama, Tennessee Valley Authority. pp. 7-27.
- 56) **MORON, A. 1996.** Jornadas de Cultivos de Invierno. Próximo lanzamiento de INIA La Estanzuela: Kit de análisis rápido para determinar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Actividades de Difusión Nro. 94 40 p.
- 57) (_____.); **SAWCHIK, J. 1998.** Fertilización nitrogenada y potencial de mineralización de nitrógeno *in* Jornadas de Cultivos de Invierno. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Actividades de difusión Nro. 159. 52 p.
- 58) **NELSON, D.W. AND SOMMERS, L.E., 1996.** Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *In* *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Chapter 34 : 961 - 1010
- 59) **PERDOMO, C. 1996.** Manejo y Fertilidad de Suelos; Consideraciones sobre criterios para el ajuste de la fertilización N en cultivos de invierno. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie Técnica Nro. 76. 167 p.

60) (_____.); 1996. Fertilización N en cultivos de invierno in Curso de Actualización en Fertilidad de Suelos. Montevideo. Facultad de Agronomía 64 p.

61) (_____.); **HOFFMAN, E.; PONS, C.; PASTORINI, M.;**1999 Fertilización nitrogenada en cebada cervecera in Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera. 1999. Facultad de Agronomía. pp 1-2

62) **PIRIZ, M.; DEAMBROSI, E.** 1992. Fertilización en cebada cervecera in Jornadas de Cultivos de Invierno. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Resultados experimentales 1991. Treinta y Tres – Uruguay. pp. 19-23

63) **RICE, C. W., HAVLIN, J. L.** 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In J. L. Havlin and J. S. Jacobsen (eds.). Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations. Madison, WI, ASA, and SSSA. pp. 1-13. (Agronomy Monography N° 40).

64) **SIMS, J.T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K.L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V.** 1995. Evaluation of Soil and Plant Nitrogen Tests for Maize on Manured Soils of the Atlantic Coastal Plain in Agronomy Journal 87:213-222

65) **SAS** – User’s Guide to the Statistical Analysis System, Cary, North Caroline, 1986.

66) **SOPER, R.J.; RACZ, G.J.; FEHR, P.I.** 1971. Nitrate nitrogen in the soil as a means of predicting the fertilizer nitrogen requirements of barley in Soil Science 51:45-49

67) **STANFORD, G.** 1982. Assessment of soil nitrogen availability. In F. J. Stevenson (ed.). Nitrogen in agricultural soils. Madison, WI, ASA, CSSA, and SSSA. pp. 651-658. (Agronomy Monography N° 23).

68) **URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS “ALBERTO BOERGER” DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES.** 1976. Guía para fertilización de cultivos. Montevideo. 46 p

8) ANEXOS

Anexo N° 1. Análisis de regresión del contenido de N-NO₃ a la siembra sobre el contenido de materia orgánica del suelo.

Var. Dependiente – N-NO₃S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
Materia orgánica del suelo	1	37.227	0.27
R cuadrado	CV	Media	
0.07	47.56	11.27	

Anexo N° 2. Análisis de regresión del contenido de N-NO₃ a la siembra sobre el el Potencial de mineralización.

Var. Dependiente – N-NO₃S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
Potencial de mineralización	1	634.14	0.0001
R cuadrado	CV	Media	
0.53	39.03	11.69	

Anexo N° 3. Análisis de regresión del contenido de N-NO₃ a la siembra sobre el contenido de N mineral total (N-NO₃ + N-NH₄).

Var. Dependiente – N-NO₃S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
Nitrógeno mineral total	1	951.88	0.0001
R cuadrado	CV	Media	
0.79	25.73	11.69	

Anexo N° 4. Análisis de regresión del contenido de N-NO₃ a la siembra sobre el contenido de N-NO₃ a Z-22.

Var. Dependiente – N-NO₃S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
N-NO ₃ a Z-22	1	598.28	0.001
R cuadrado	CV	Media	
0.50	40.26	11.69	

Anexo N° 5. Análisis de regresión del porcentaje de proteína en el grano sobre el rendimiento promedio en grano.

Var. Dependiente – N-NO3S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
Rendimiento prom. en grano	1	13.53	0.009
R cuadrado	CV	Media	
0.22	11.21	11.79	

Anexo N° 6. Análisis de regresión del porcentaje de proteína en el grano sobre los kilogramos de grano/UN.

Var. Dependiente – N-NO3S

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr > F
Kgs grano/UN	1	40.11	0.0001
R cuadrado	CV	Media	
0.66	7.41	11.79	

Anexo N° 7. Funciones estadísticas utilizadas en cada sitio a siembra, para $Z-22 = 0$ unidades de N:

<i>Sitio</i>	<i>Función</i>	Función ajustada
1	Cuadrática	$-0.265x^2+22.106x+1180.9$
2	No ajuste	Promedio
3	Lineal	$-15.333x+4186$
5	No ajuste	Promedio
7	Lineal	$6.464x+3139.8$
8	Lineal	$7.939x+2901.7$
9	Lineal	$14.607x+2994.3$
10	Lineal	$23.445x+2064.3$
11	Cuadrática	$-0.264 x^2+46737x+2231.8$
12	Cuadrática	$-0.204 x^2+41.755x+1535.6$
14	No ajuste	Promedio
15	Cuadrática	$-0.366 x^2+55.520x+1738.6$
16	No ajuste	Promedio
17	Lineal	$25.736x+449.4$
18	Cuadrática	$-0.541 x^2+48.024x+3249.8$
19	Cuadrática	$-0.216 x^2+35.924x+4384.7$
20	Lineal	$33.004x+707.3$
21	Cuadrática	$-0.218 x^2+6.364x+4064.8$
101	Lineal	$10.213x+2053$
102	No ajuste	Promedio
103	Lineal	$9.882x+1829.1$
104	Cuadrática	$-0.135 x^2+18.943x+2013.8$
105	Lineal	$6.826x+1349.9$
106	Cuadrática	$-0.162 x^2+9.792x+2708.7$
108	No ajuste	Promedio
109	Lineal	$13.440x+1739$
110	Lineal	$13.174x+774.03$
111	No ajuste	Promedio
112	Cuadrática	$0.265 x^2+22.106x+1180.9$

**Anexo N° 8: Resultados del análisis estadístico para rendimiento en grano de cebada
cervecera según diferentes dosis de N a la siembra (Sur, sitios 1 a 21 y Norte, sitios 101
a 112):**

Sitio	Fuente de variación	gl	CM	P > F
1	Bloque	2	75875.59	0.49
	Tratamientos	8	522689.50	0.0034
	NSL en NZ22=0	1		0.01
	NSC en NZ22=0	1		0.002
	Error	15	103234.93	
2	Bloque	2	197314.11	0.4850
	Tratamientos	8	409314.58	0.2102
	NSL en NZ22=0	1		0.07
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	260568.61	
3	Bloque	2		
	Tratamientos	8	1462771.37	0.0005
	NSL en NZ22=0	1	642968.95	0.0019
	NSC en NZ22=0	1		0.0001
	Error	16	116983.33	Ns
5	Bloque	8		
	Tratamientos	2	128878.29	0.8240
	NSL en NZ22=0	8	926104.46	0.2699
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	1		Ns
7	Bloque	15	657308.72	
	Tratamientos	2		
	NSL en NZ22=0	8	573589.59	0.0025
	NSC en NZ22=0	8	259937.23	0.084
	Error	1		0.009
8	Bloque	1		Ns
	Tratamientos	16	64338	
	NSL en NZ22=0	2		
	NSC en NZ22=0	2	629433.04	0.0124
	Error	8	225151.98	0.0995
	Bloque	1		0.01
	Tratamientos	1		ns
	NSL en NZ22=0	16	107660.45	
	NSC en NZ22=0			
	Error			

9	Bloque	2	193564.78	0.3622
	Tratamientos	8	679936.75	0.0110
	NSL en NZ22=0	1		0.001
	NSC en NZ22=0	1		ns
	Error	16	178756.07	
10	Bloque	2	569464.84	0.3825
	Tratamientos	8	1563392.78	0.0401
	NSL en NZ22=0	1		0.005
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	15	555360.38	
11	Bloque	2	578841.51	0.5076
	Tratamientos	8	1294091.17	0.2100
	NSL en NZ22=0	1		0.008
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	815710.15	
12	Bloque	2	115370.11	0.5235
	Tratamientos	8	2111858.83	0.0001
	NSL en NZ22=0	1		0.001
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	171154.61	
14	Bloque	2	4821909.93	0.0062
	Tratamientos	8	591462.42	0.5592
	NSL en NZ22=0	1		Ns
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	678560.47	
15	Bloque	2	20777.82	0.8539
	Tratamientos	8	1628635.26	0.0001
	NSL en NZ22=0	1		0.004
	NSC en NZ22=0	16	130221.98	
	Error			
16	Bloque	2	68240.11	0.8616
	Tratamientos	8	799531.41	0.1638
	NSL en NZ22=0	1		Ns
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	15	453628.83	

17	Bloque	2	334952.78	0.0976
	Tratamientos	8	2161178.17	0.0001
	NSL en NZ22=0	1		0.0001
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	124038.99	
18	Bloque	2	923803.03	0.0368
	Tratamientos	8	781849.06	0.0173
	NSL en NZ22=0	1		Ns
	NSC en NZ22=0	1		0.002
	Error	15	222650.57	
19	Bloque	2	299075.59	0.1352
	Tratamientos	8	1222291.01	0.0001
	NSL en NZ22=0	1		0.0001
	NSC en NZ22=0	1		0.08
	Error	16	131573.93	
20	Bloque	2	935827.00	0.0137
	Tratamientos	8	2413505.92	0.0001
	NSL en NZ22=0	1		0.0001
	NSC en NZ22=0	1		ns
	Error	16	164790.46	
21	Bloque	2	1210261.33	0.0711
	Tratamientos	8	1580497.00	0.0080
	NSL en NZ22=0	1		0.02
	NSC en NZ22=0	1		Ns
	Error	16	386341.33	
101	Bloque	2	8690.26	0.8977
	Tratamientos	8	622162.43	0.0003
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	79948.84	
102	Bloque	2	363723.11	0.2333
	Tratamientos	8	301438.92	0.3009
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	227900.07	

103	Bloque	2	5114.77	0.9726
	Tratamientos	8	411133.92	0.0807
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	183476.31	
104	Bloque	2	73929.00	0.403
	Tratamientos	8	166135.83	0.0910
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	77095.25	
105	Bloque	2	404480.15	0.0173
	Tratamientos	8	273721.43	0.0144
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	76554.86	
106	Bloque	2	60156.77	0.3452
	Tratamientos	8	150980.33	0.0353
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	52878.90	
		2	7682.33	0.9357
108	Bloque	8	59516.67	.08266
	Tratamientos	1		
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	16	115093.00	
	Error			
109	Bloque	2	1051761.15	0.0092
	Tratamientos	8	402431.09	0.0612
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	164810.65	
110	Bloque	2	445212.44	0.0811
	Tratamientos	8	627712.83	0.0074
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16	150858.78	

111	Bloque	2	284218.19	0.2001
	Tratamientos	8	190173.03	0.3613
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	15	158379.83	
112	Bloque	2	573075.82	0.0128
	Tratamientos	88	136339.00	0.2781
	NSL en NZ22=0	1		
	NSC en NZ22=0	1		
	Error	16		

Apéndice N° 8: Resultados del análisis estadístico para rendimiento en grano de cebada cervecera según diferentes dosis de N a Z-22 para N a siembra = 0 (Sur, sitios 1 a 21 y Norte, sitios 101 a 112):

Sitio	Fuente de variación	gl	CM	P > F
1	Regr. Lineal NZ22	1	1459054.154	0.0046
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	650560.222	0.0263
	Error	6	75795.667	-
		Valor		
	R ²	0.87		
	b0	2168.66*		
	b1	59.27*		
	b2	-0.63*		
	Regr. Lineal NZ22	1	2437162.67	0.0057
	Error	7	157904.89	-
2	Regr. Lineal NZ22	1	2009941.551	0.0057
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	1502800.056	0.0445
	Error	6	234095.889	-
		Valor		
	R ²	0.62		
	b0	2892.66*		
	b1	69.56*		
	b2	-0.96*		
	Regr. Lineal NZ22	1	748360.167	0.2214
	Error	7	415339.341	-

3	Regr. Lineal NZ22	1	1245792.667	0.0547
	Error	7	234859.365	-
		Valor		
	R ²	0.43		
	b0	4062.11*		
	b1	15.18*		
	Regr. Lineal NZ22	1	929335.8462	0.0727
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	464005.5556	0.1754
	Error	6	196668.333	-
5	Regr. Lineal NZ22	1	17280.66	0.8503
	Error	7	450787.62	-
	Regr. Lineal NZ22	1	392630.2051	0.3846
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	476288.00	0.3415
	Error	6	446537.556	-
7	Regr. Lineal NZ22	1	1370904.00	0.0192
	Error	7	149544.22	-
		Valor		
	R ²	0.57		
	b0	3129.78*		
	b1	15.93*		
	Regr. Lineal NZ22	1	391212.5128	0.1668
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	97976.8889	0.4612
	Error	6	158138.778	-
8	Regr. Lineal NZ22	1	192667.0	0.9798
	Error	7	280396.127	-
	Regr. Lineal NZ22	1	630720.4615	0.1354
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	689920.8889	0.1214
	Error	6	212142.00	-
9	Regr. Lineal NZ22	1	2051010.667	0.0278
	Error	7	267746.70	-
		Valor		
	R ²	0.52		
	b0	2938.11*		
	b1	19.49*		

	Regr. Lineal NZ22	1	114157.1282	0.5673
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	3813.55	0.9155
	Error	6	311735.556	-
10	Regr. Lineal NZ22	1	5135600.167	0.0264
	Error	7	653526.262	-
	Valor			
	R ²	0.53		
	b0	2180.50*		
	b1	30.84*		
	Regr. Lineal NZ22	1	1694628.321	0.1657
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	491040.500	0.4282
	Error	6	1385976.78	-
11	Regr. Lineal NZ22	1	5021520.17	0.0794
	Error	7	1193593.44	-
	Regr. Lineal NZ22	1	659272.3205	0.5162
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	39293.3889	0.8718
	Error	6	1385976.78	-
12	Regr. Lineal NZ22	1	1624038.782	0.0003
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	245700.500	0.0274
	Error	6	29253.556	-
	Valor			
	R ²	0.98		
	b0	1504.33*		
	b1	62.53*		
	b2	-0.39*		
	Regr. Lineal NZ22	1	8281400.167	0.0001
	Error	7	60174.548	-
14	Regr. Lineal NZ22	1	774722.667	0.3827
	Error	7	893175.048	-
	Regr. Lineal NZ22	1	99939.28205	0.7672
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	5618.00	0.9438
	Error	6	1041101.22	-
15	Regr. Lineal NZ22	1	7266601.500	0.0001
	Error	7	127327.627	-
	Valor			
	R ²	0.89		

	b0	1900.38*		
	b1	36.68*		
	Regr. Lineal NZ22	1	1734957.551	0.0046
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	351401.389	0.0955
	Error	6	89982.00	-
16	Regr. Lineal NZ22	1	1351850.667	0.0597
	Error	7	268478.6303	-
	Valor			
	R ²	0.42		
	b0	4189.55*		
	b1	15.82*		
	Regr. Lineal NZ22	1	74339.28205	0.6432
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	2688.88	0.9291
	Error	6	312776.889	-
17	Regr. Lineal NZ22	1	4820480.667	0.0007
	Error	7	149122.698	-
	Valor			
	R ²	0.82		
	b0	254.89		
	b1	29.88*		
	Regr. Lineal NZ22	1	72987.1282	0.5159
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	124334.22	0.4024
	Error	6	153254.111	-
18	Regr. Lineal NZ22	1	1806210.667	0.0535
	Error	7	335869.460	-
	Valor			
	R ²	0.43		
	b0	3403.44*		
	b1	18.28*		
	Regr. Lineal NZ22	1	1348532.513	0.0705
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	673573.556	0.1716
	Error	6	279585.444	-
19	Regr. Lineal NZ22	1	341293.500	0.1241
	Error	7	111778.643	-
	Regr. Lineal NZ22	1	34021.03846	0.6276
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	544.50	0.9506

	Error	6	130317.667	-
20	Regr. Lineal NZ22	1	1331232.051	0.0123
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	529077.556	0.0673
	Error	6	106445.44	-
		Valor		
	R ²	0.83		
	b0	686.00*		
	b1	56.61*		
	b2	-0.57		
	Regr. Lineal NZ22	1	2690720.667	0.0051
	Error	7	166821.460	-
21	Regr. Lineal NZ22	1	907148.167	0.2825
	Error	7	669426.833	-
	Regr. Lineal NZ22	1	9592.6282	0.9141
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	142044.50	0.6801
	Error	6	757323.889	-
101	Regr. Lineal NZ22	1	2638740.167	0.0006
	Error	7	77180.833	-
		Valor		
	R ²	0.83		
	b0	2132.17*		
	b1	22.10*		
	Regr. Lineal NZ22	1	375648.3205	0.0806
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	28560.50	0.5838
	Error	6	85284.222	-
102	Regr. Lineal NZ22	1	112.6667	0.9660
	Error	7	57703.0794	-
	Regr. Lineal NZ22	1	5218.513	0.7885
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	6123.55	0.7715
	Error	6	66299.66	-
103	Regr. Lineal NZ22	1	502861.500	0.2749
	Error	7	358535.151	-
	Regr. Lineal NZ22	1	1510654.167	0.0414
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	1154693.389	0.0644
	Error	6	225842.111	-

104	Regr. Lineal NZ22	1	344005.1282	0.0252	
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	192200.00	0.0687	
	Error	6	39203.5556	-	
		Valor			
	R ²	0.70			
	b0	1994.00*			
	b1	28.78*			
	b2	-0.34			
	Regr. Lineal NZ22	1	355266.6667	0.0466	
	Error	7	61060.1905	-	
105	Regr. Lineal NZ22	1	8970.667	0.8279	
	Error	7	176071.746	-	
	Regr. Lineal NZ22	1	11914.05128	0.8163	
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	19866.88	0.7645	
	Error	6	202105.889	-	
	106	Regr. Lineal NZ22	1	327214.1538	0.0221
		Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	229390.2222	0.0426
		Error	6	34878.5556	
			Valor		
		R ²	0.65		
b0		2709.00*			
b1		-28.06*			
b2		0.38*			
Regr. Lineal NZ22		1	162690.6667	0.1512	
Error		7	62665.9365	-	
108	Regr. Lineal NZ22	1	37288.1667	0.5659	
	Error	7	102728.8651	-	
	Regr. Lineal NZ22	1	101304.1154	0.3685	
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	75920.0556	0.4323	
	Error	6	107197.00		
	109	Regr. Lineal NZ22	1	382537.500	0.2565
		Error	7	250595.722	-
		Regr. Lineal NZ22	1	83300.01282	0.6112
		Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	14849.388	0.8285
		Error	6	289886.778	-

110	Regr. Lineal NZ22	1	2179242.667	0.007
	Error	7	153355.651	-
		Valor		
	R ²	0.67		
	b0	668.88*		
	b1	20.09*		
	Regr. Lineal NZ22	1	633961.8462	0.0871
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	162070.22	0.3415
	Error	6	151903.222	-
111	Regr. Lineal NZ22	1	306908.167	0.1731
	Error	7	133424.103	-
	Regr. Lineal NZ22	1	93669.34615	0.4616
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	25162.722	0.6977
	Error	6	151467.667	-
112	Regr. Lineal NZ22	1	36973.500	0.71547
	Error	7	256363.246	-
	Regr. Lineal NZ22	1	12897.55128	0.8410
	Regr. Cuadr. NZ22*NZ22	1	30176.055	0.7596
	Error	6	294061.111	-