



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

MODELOS EMPÍRICOS DE FERTILIZACION NITROGENADA EN CEBADA
CERVECERA

ANALIA FABIANA RAUSCH

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2015

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 20 de Febrero de 2007 y el 23 de diciembre de 2014, bajo la dirección de la Ing. Agr. (Mag.) María de las Mercedes Ron

Analía Fabiana Rausch



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/...../..... , mereciendo la calificación de(.....)

A mis padres, María Luisa y Guillermo

A Darío, mi esposo

A Joaquín y Martina, mis hijos

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

- A la Directora de Tesis: Ing. Agr. (Mag.) MARIA DE LAS MERCEDES RON, por creer en mí, por su guía, apoyo y por tantas enseñanzas tanto profesionales como personales, gracias de corazón.
- A la directora del proyecto “Fertilización nitrogenada en CC” (1999-2008, PGI N° 24/A068, 24/A103, 24/A137) Lic. (Mag.) María Aurora Lázzari y a los agentes de UNS, Malterías Quilmes y Pampa; INTA Bordenave y CHEI Barrow que participaron en el mismo.
- A los investigadores, docentes y técnicos: Ing. Agr. (Mag.) María Rosa Landriscini, Dr. Juan Alberto Galantini, Lic. Juan Carlos Gasparoni, Ing. Agr. Julio Iglesias, Dra. Liliana Suñer, Lic. (Mag.) Ana María Miglierina, Lic. (Mag.) Alejandra Barrios , Ing. Agr: Juan Manuel Martínez, y Tec. Romina Storniolo, por su ayuda incondicional y tantos mates compartidos.
- A mis compañeros de trabajo de la AER INTA Ceres: Javier Caporgno, Marcelo Martoglio, Marcelo Lovaisa y Germán Demichelis, quienes fueron un sostén importante, siempre dándome ánimo y alentándome a seguir adelante en este proyecto.
- A mis dos hermanas Silvina y Celeste porque siempre me apoyaron en todo.
- A mis amigos, en especial a MARITA POLICANO, Mary, Rodrigo, Adrián, Laura, Raúl y Patricio, porque son mis hermanos/as del corazón, gracias por estar siempre a mi lado compartiendo tantos momentos.

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento de cebada cervecera. El uso de fertilizantes presenta varios aspectos que deben ser considerados para lograr el objetivo de altos rendimientos con buena calidad maltera. El objetivo de este trabajo es la obtención de modelos empíricos que combinen información y generalicen resultados experimentales. Se utilizaron datos provenientes de una red de 28 ensayos llevados a cabo entre 1999 y 2002, con un diseño de cuatro bloques completos al azar. La variedad fue Quilmes Palomar. Los tratamientos incluyeron dosis y época de aplicación de N: emergencia (0, 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹), macollaje (0, 30 y 60 kg ha⁻¹) y una dosis de 60 kg ha⁻¹ dividida en las dos épocas. Se empleó la información de rendimiento, proteína, calibre y peso de mil y de variables de sitio climáticas y edáficas. Se utilizaron distintos procedimientos estadísticos. En un análisis preliminar se ratificó el efecto de condiciones ambientales (años y sitios) y de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad industrial del grano. El efecto más negativo del N sobre la calidad, se expresó con dosis altas y/o aplicadas en macollaje. La componente principal (CP) 1 se asoció con la calidad del grano, asignándole prioridad a la proteína. La CP2 se relacionó con el rendimiento. Se realizó una limpieza de datos, aplicando un procedimiento basado en estadística gráfica, relaciones entre variables del cultivo y pruebas para la aditividad del efecto de bloque. Se eliminaron 2,7% de los casos para habilitar la implementación de herramientas paramétricas habituales. Se realizaron estimaciones de la dosis óptima económica (DOE), para una relación de precios de 9 kg N por kg cebada, basadas en la combinación de diferentes funciones y convirtiendo el rendimiento a valores equivalentes de calidad homogénea. El efecto de la fertilización sobre la calidad determinó una reducción promedio de la DOE de 5 a 15 kg N ha⁻¹. Se desarrolló un modelo de fertilidad para N aplicado en emergencia que seleccionó a la materia orgánica y una variable categórica para los ensayos del año 2000 como predictivas del rendimiento. Se ratificó la mayor aptitud de respuesta a N en suelos arenosos. En otro modelo que combinó las aplicaciones en emergencia y macollaje, se cuantificó la potencialidad de la fertilización en

emergencia de obtener mayores respuestas en rendimiento, en años climáticamente favorables, con influencia relativamente menor sobre la proteína. La aplicación en macollaje, tendría menor riesgo en ciclos con deficiencia hídrica. Se determinó un nivel crítico cercano a los 122 kg ha⁻¹ de N-nitratos en presiembra, por debajo del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización sería mayor. Con la relación de precios histórica y el presente estándar de comercialización, las dosis mayores de 30 kg ha⁻¹ solo serían rentables en años climáticamente muy favorables y/o para suelos arenosos. Ante la incertidumbre climática el fraccionamiento es recomendable para atenuar los riesgos de la fertilización.

ABSTRACT

Nitrogen (N) is the main nutrient that limits the performance of malting barley. Fertilizer use has several aspects that should be considered to achieve the goal of high yields with good malting quality. The aim of this work is to obtain empirical models that combine information and generalize experimental results. Data from a network of 28 experiments, carried out between 1999 and 2002, with a design of four randomized complete blocks were used. The variety was Quilmes Palomar. Treatments included rates and times of N application: germination (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹), tillering (0, 30 and 60 kg ha⁻¹) and a rate of 60 kg ha⁻¹ split in both times. Crop variables were yield, protein, plumpness and weight of a thousand kernels. Climatic and soil variables were also used. Different statistical methods were employed. In a preliminary analysis, the effect of environmental conditions (years and sites) and fertilization on yield and grain quality industrial was ratified. The negative effect of N on quality, appeared at high rates and / or applications at tillering. The principal component (CP) 1 was associated with grain quality, assigning priority to the protein. The CP2 was related to yield. Data cleansing was performed, applying a procedure based on graph statistics, relationships between variables and tests of additivity of block effect. To enable the implementation of parametric tools, 2.7% of cases were removed. Estimates of the economic optimal rate (DOE) were made at a price ratio of 9 kg N per kg barley, based on the combination of different functions and converting the yield to equivalent values of homogeneous quality. The effect of fertilization on the quality determines an average reduction of the DOE of 5-15 kg N ha⁻¹. A fertility model for N applied at germination selected organic matter and a categorical variable for the year 2000 as predictive of yield. Response to N was more likely in sandy soils. In another model that combined applications at germination and tillering, the former produced higher yield responses in climatically favorable years, with a relatively minor influence on the protein. Applying at tillering, would lower risks in cycles with water deficiency. A critical level of

122 kg ha⁻¹ soil N as nitrates, before sowing was determined, below which the probability of yield response to fertilization would be higher. With the historic price ratio and marketing standard, rates higher than 30 N kg ha⁻¹ would only be profitable in very favorable climatic years and / or sandy soils. Given the climatic uncertainty, N fractionation is recommended to reduce the risks of fertilization.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Firma del Director

Ing. Agr. (Mag.)María de las Mercedes Ron

Publicaciones derivadas de la tesis

1. **Rausch, A. F.**; Ron; M. de las Mercedes; Landriscini M. Rosa.; Lázzari, Aurora. Calidad de datos provenientes de ensayos de fertilización en cebada cervecera. VII Congreso Nacional de trigo y V Simposio de cereales otoño invernales. Santa Rosa, La Pampa 2,3 y 4 de Julio del 2008.
2. Storniolo, R; **Rausch, A. F.**; Landriscini M. R.; Ron, M. M. Limpieza de datos de una red de ensayos de fertilización. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Mar del Plata, Buenos Aires 16-20 de Abril de 2012.
3. **Rausch, A. F.** ;Storniolo,R.; Landriscini; M.R.; Ron,M.M. Modelo de la respuesta de “CEBADA CERVECERA” (*Hordeum vulgare* L.) a nitrógeno aplicado en emergencia. IV Congreso Latinoamericano de cebada. Bahía Blanca 30,31 de Octubre y 1 de Noviembre de 2013
4. Ron, M.M.; Storniolo, R.; **Rausch, A. F.** Dosis óptima económica de nitrógeno en CEBADA CERVECERA (*Hordeum vulgare* L.). IV Congreso Latinoamericano de cebada. Bahía Blanca 30,31 de Octubre y 1 de Noviembre de 2013.
5. Storniolo, R.; **Rausch, A. F.**; Landriscini, M.R.; Ron, M.M. Respuesta a Nitrógeno de “CEBADA CERVECERA” (*Hordeum vulgare* L.) y efecto de la época de aplicación. IV Congreso Latinoamericano de cebada. Bahía Blanca 30,31 de Octubre y 1 de Noviembre de 2013.
6. Ron, M.M; Storniolo, R; Rausch AF 2014 Dosis óptima económica de nitrógeno para rendimiento y calidad en cebada cervecera XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014. 5 páginas.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El objetivo de la presente tesis es la obtención de modelos empíricos que combinen información y generalicen resultados de ensayos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera.

Esta tesis está organizada en 6 capítulos. El primero incluye una introducción general al tema. El Capítulo 2 presenta las características de la base de datos utilizada y los resultados de un análisis preliminar mediante estadística descriptiva y componentes principales. A continuación, se avanza en el objetivo general, con distintos enfoques, en los capítulos restantes. Cada uno tiene la estructura de un trabajo científico con objetivos y conclusiones específicas.

El Capítulo 3 presenta un análisis exploratorio para la evaluación de la calidad de los datos y posterior eliminación de casos atípicos. En el Capítulo 4 se aborda la estimación de la dosis óptima económica, basada en variables de rendimiento y calidad. El Capítulo 5 incluye un modelo de la respuesta a la fertilización nitrogenada en emergencia en un rango amplio de dosis de nitrógeno. En el último capítulo se desarrolla un modelo de fertilización nitrogenada en emergencia, macollaje y fraccionada. El tratamiento incluye la estimación de eficiencias y la calibración de análisis de suelos para nitrógeno disponible.

INDICE DE CONTENIDOS

PREFACIO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS	ix
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	x
CAPITULO 1. INTRODUCCION GENERAL	1
1.1 Importancia del cultivo en el mundo	1
1.2 Importancia del cultivo en Argentina	4
1.3 Uso de la cebada en la fabricación de la cerveza	8
1.4 Comercialización de cebada	9
1.5 Importancia del nitrógeno para la producción de cebada cervecera de buena calidad	12
1.6 Uso de modelos en agricultura	14
1.7 Algunos modelos empíricos desarrollados para respuesta a la fertilización nitrogenada en cebada cervecera en la provincia de Buenos Aires	15
1.8 Hipotesis y objetivo general	16
1.9 Bibliografía	16
CAPITULO 2. ANALISIS PRELIMINAR DE UNA BASE DE DATOS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CEBADA CERVECERA	22
2.1 INTRODUCCION	22
2.1.1 Antecedentes de la base de datos	22
2.1.2 Análisis preliminar	23
2.2 MATERIALES Y METODOS	26
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
2.3.1 Estadística descriptiva	27
2.3.2 Individualización de parcelas con rendimiento y porcentaje de proteína aceptables	27
2.3.3 Componentes principales	29

2.4 CONCLUSIONES	31
2.5 BIBLIOGRAFIA.....	32
CAPITULO 3. LIMPIEZA DE DATOS EN ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN DE CEBADA CERVECERA	34
3.1 INTRODUCCIÓN.....	34
3.2 MATERIALES Y METODOS.....	36
3.3 RESULTADOS	42
3.4 DISCUSIÓN.....	47
3.5 CONCLUSIONES	50
3.6 BIBLIOGRAFIA.....	51
CAPITULO 4. DOSIS ÓPTIMA ECONOMICA DE NITRÓGENO PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD EN CEBADA CERVECERA.....	55
4.1 INTRODUCCIÓN.....	55
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.4 CONCLUSIÓN.....	62
4.5 BIBLIOGRAFÍA.....	62
CAPITULO 5. MODELO DE LA RESPUESTA DE “CEBADA CERVECERA” (Hordeum vulgare L.) A NITRÓGENO APLICADO EN EMERGENCIA	65
5.1 INTRODUCCION.....	65
5.2 MATERIALES Y METODOS.....	66
5.3 RESULTADOS Y DISCUSION	69
5.4 CONCLUSION.....	76
5.5 BIBLIOGRAFIA.....	76
CAPITULO 6. MODELO DE LA RESPUESTA DE CEBADA CERVECERA A NITRÓGENO APLICADO EN EMERGENCIA Y MACOLLAJE.....	79
6.1 INTRODUCCION.....	79
6.2 MATERIALES Y METODOS.....	80
6.2.1 Ensayos y variables de sitio.....	80
6.2.2. Variables del cultivo, regresiones y variables dependientes.....	81
6.3 RESULTADOS y DISCUSION	83
6.3.1. Variables de sitio	83
6.3.2 Ecuaciones de regresión.....	85
6.3.3 Variables dependientes	87
6.3.4 Relación entre variables dependientes y variables de sitio	93
6.3.4.1 Calibración del análisis de suelos.....	93

6.3.4.2 Modelos generales de fertilidad.....	94
6.4 CONCLUSIONES	97
6.5 BIBLIOGRAFIA.....	97
ANEXO	103
I- Publicaciones derivadas de la red de ensayos de fertilización nitrogenada en Cebada Cervecera	103
II- Criterios para la elección y cantidad de ensayos utilizados en cada capítulo...	106
III- GRAFICOS QQPLOT para los años 1999, 2000, 2001 y 2002.....	107
IV- Coeficientes de la ec. 1 para los 25 ensayos y 3 variables del cultivo	
a) Rendimiento.....	114
b) Proteína	115
c) Rendimiento de N	116

CAPITULO 1

INTRODUCCION GENERAL

1.1 Importancia del cultivo en el mundo

La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia dentro de la producción mundial de cereales, después del maíz, trigo y arroz (Tabla 1.1). A pesar de la relevancia de este cereal su producción global en la última década se redujo en un 20% como consecuencia del avance de otros cultivos, principalmente el maíz (FAO, 2012). En la década de 1980 se producían unos 165 millones de t anuales de cebada (Alzugaray, 2013). Actualmente se siembran alrededor de 50 millones de hectáreas que generan unas 136 millones de t por año, en promedio de las últimas cinco campañas (USDA, 2014).

Tabla 1.1. Producción y área cosechada de los principales granos. Campaña 2013/2014.

Cultivo	Producción (Millones de t)	Área cosechada (Millones de ha)	Producción Mundial de granos (%)
MAIZ	984	177	40
TRIGO	714	220	30
ARROZ	476	160	19
CEBADA	145	50	6

Fuente: USDA, 2014

En términos globales, los rendimientos medios de cebada se ubican en los 2,87 t ha⁻¹ (campaña 2013/14, USDA) pero con realidades profundamente diversas. En países europeos, o en Chile, se logran rindes de 8 ó 9 t ha⁻¹, mientras que en lugares más marginales de Australia o Rusia, no se sobrepasan las 1,5 t ha⁻¹ (Alzugaray, 2013).

La reducción en los volúmenes totales producidos, ocurrida principalmente en Europa, se ha dado a pesar de la siempre creciente demanda por la cebada cervecera (Alzugaray, 2013). Ninguna de las grandes zonas productoras ha tenido una evolución positiva importante en los últimos años 10 años, a excepción de Argentina. Nuestro país ocupa el tercer puesto entre los

principales exportadores, después de la Unión Europea y Australia (Fig.1.1). Con respecto a la importación, Arabia Saudita continúa siendo líder entre los países demandantes (Fig. 1.2).

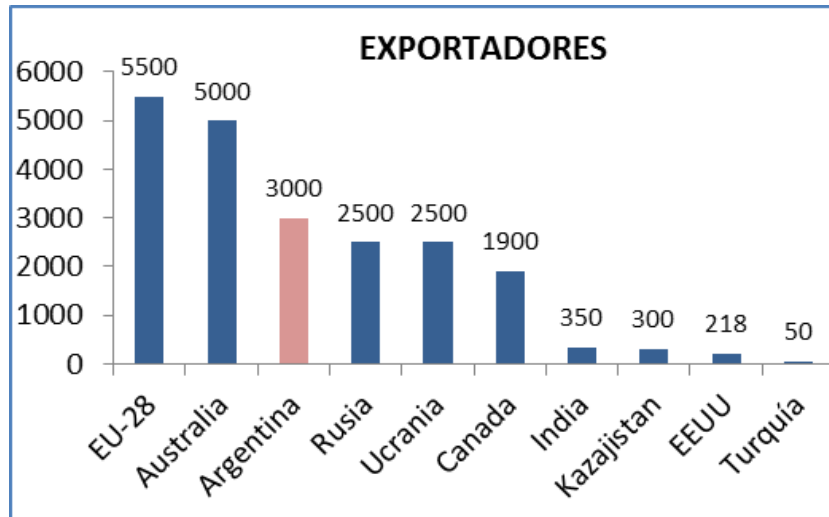


Fig. 1.1. Principales países exportadores de cebada (Miles de t). Fuente: USDA, 2014

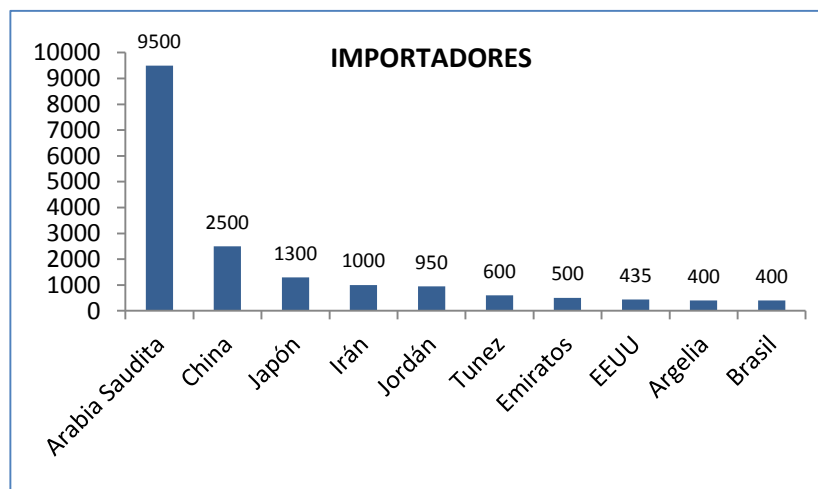


Fig. 1.2. Principales países importadores de cebada (Miles de t). Fuente: USDA, 2014

Actualmente, cerca del 80% de la producción mundial de cebada se utiliza con destino forrajero. Los proveedores naturales para este uso siempre han sido Europa, Rusia y Ucrania y otros mercados específicos, como Australia y Canadá. En Europa el comercio de cebada forrajera mayormente se orienta a cubrir las necesidades del cercano Oriente y de Túnez en África, que son los principales importadores de este rubro. En América del

Sur, la cebada hasta ahora no se ha consolidado como una alternativa para complemento de la dieta bovina. Esto se debe a la buena disponibilidad de pasturas y al uso de alternativas como el maíz o el sorgo.

En la campaña 2013/2014 Argentina descendió una posición al pasar del sexto lugar en la campaña, anterior con 5,5 millones de t, a la séptima posición (Fig. 1.3) entre los principales países productores de cebada (Antonelli, 2014).

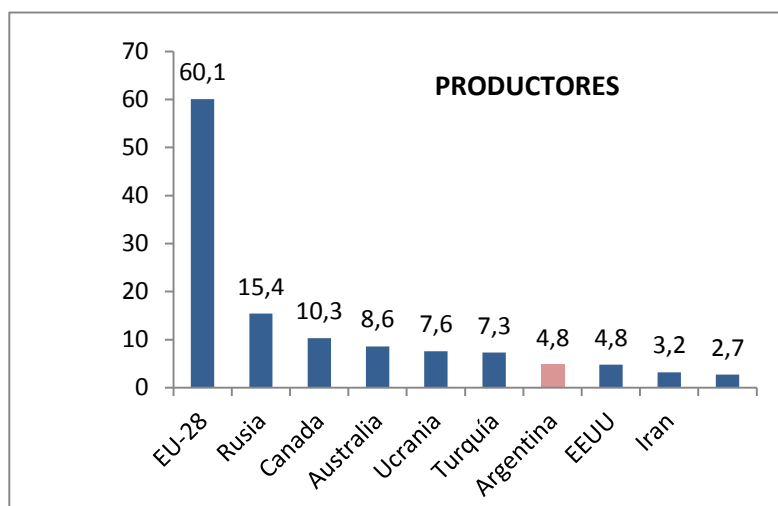


Fig. 1.3 Principales países productores de cebada (millones de t). Fuente: USDA, 2013/14

En materia de cebada cervecera, los flujos comerciales han ido a los países que desarrollaron capacidad maltera, pero que por falta de condiciones adecuadas de desarrollo del cultivo, no logran el autoabastecimiento. Los mejores ejemplos de esto son China y Brasil, grandes mercados cerveceros, que son abastecidos desde Europa, Canadá, Australia y Argentina. Otros países relevantes en cuanto a sus niveles de importación de cebada cervecera son Japón, Colombia y USA (Alzugaray, 2013).

En Sudamérica, la introducción y el fomento de la siembra de cebada generalmente se debieron al interés de las malterías instaladas para generar un abastecimiento local, que les diera cierta independencia de la importación. Algo semejante ocurrió en Australia. Esto hizo que por muchos años, el negocio fuera relativamente “cerrado”, con pocos actores fomentándolo (Alzugaray, 2013).

En los países europeos, el modelo de las “dos cebadas” cervecera y forrajera está

profundamente arraigado. Normalmente los productores eligen las variedades a sembrar en función de la perspectiva comercial. Durante el ciclo vegetativo, en el caso que la alternativa escogida se deteriore, se puede aprovechar la circunstancial fortaleza de la otra opción. El destino de los granos de buena calidad es para malteado y el resto para forraje. Sin embargo, hay países que importan cebada fuera de los parámetros de calidad e igualmente elaboran cerveza, como es el caso de Brasil.

1.2 Importancia del cultivo en Argentina

En Argentina, el trigo es el cereal invernal de mayor importancia teniendo en cuenta el área y el volumen de producción, seguido por la cebada cervecera. Este cultivo se presenta como una alternativa de creciente interés como cultivo de invierno, siendo la provincia de Buenos Aires la que produce el 91% del total nacional (MAGyP, 2014). Algunas características de la especie, tales como la temprana liberación de lotes para la siembra de cultivos de segunda, la obtención de rendimientos elevados, junto con las mejores condiciones de comercialización, la mayor demanda de granos destinados a exportación y la generación de un mercado forrajero, han alentado a numerosos productores a introducir su siembra o aumentar la superficie cultivada. Por otra parte, la cebada aporta al sistema productivo residuos y cobertura, constituyéndose en una herramienta para la intensificación y diversificación de cultivos, al introducir una nueva especie de invierno, complementaria de las demás especies cultivadas (Ferraris, 2009).

En los últimos 30 años ha crecido notablemente la producción de cebada cervecera, acompañado esto por la ampliación de la distribución geográfica del cultivo y los buenos rendimientos. Estos se incrementaron en las últimas décadas, debido principalmente al efecto de la mejora vegetal (Abeledo *et al.*, 2003; Pržulj & Momčilović, 2011).

En esta evolución se distinguen tres períodos:

1) Desde 1985 hasta 2006, la superficie pasa de 80.000 a 250.000 ha, con un aumento paralelo de la capacidad maltera instalada y de la exportación de malta.

2) Desde 2006 al 2010, el cultivo crece de 250.000 a 550.000 ha, nuevamente acompañado de un aumento de la capacidad maltera y la exportación de cebada cervecera cruda. Al mismo tiempo, la expansión del cultivo de soja se convirtió en un aliado estratégico de la cebada que en la cebada. En 2006 comenzó, además la intervención del mercado de trigo (Alzugaray, 2013). Durante este período el país produjo más de un millón de t de cebada.

3) Desde 2010 hasta la actualidad, la superficie sembrada está entre 1,2 y 1,5 millones de ha. El cultivo se vio favorecido, además de los ítems anteriores, por la apertura del mercado internacional de cebada forrajera como grano para Argentina y el desaliento de la producción triguera a nivel local (Cattaneo, 2013). El fuerte incremento del área de producción que se inició al promediar el periodo anterior alcanzó 1.810.235 ha en la campaña 2012/13 (MAGyP, 2014).

El mencionado aumento productivo fue acompañado por un consumo creciente de cerveza per cápita, que mostró un pico de casi 50 litros en el año 2011. En la última década el consumo de cerveza superó ampliamente al del vino. A principios de la década del 2000 se consumía la misma cantidad de litros de las dos bebidas y hoy la relación es 1 litro de vino por 1,9 de cerveza (MAGyP, 2014).

Hasta hace unos años, prácticamente el 100% de la siembra tenía destino maltero. Con la apertura de un nuevo mercado, Arabia Saudita, está cambiando la lógica del cultivo en la Argentina, porque este país no compra la cebada para hacer malta (destino histórico del cultivo), sino para forraje. En la campaña 2013/2014, el 30% de la cebada fue utilizada por las malterías locales para producción de malta. El resto del grano se exportó con dos destinos distintos (forraje 40% y malta 30%).

Tanto el cultivo de cebada cervecera ([Fig. 1.4](#)) como de cebada forrajera ([Fig. 1.5](#)), muestran una evolución de la producción en las últimas 20 campañas, dejando en evidencia la importancia que cobró este cereal como alternativa productiva entre los cultivos extensivos de grano (SIIA, 2014). En este escenario, Argentina sería el único país de la

región que está en condiciones de ofrecer una oferta de buena calidad y con una producción creciente.

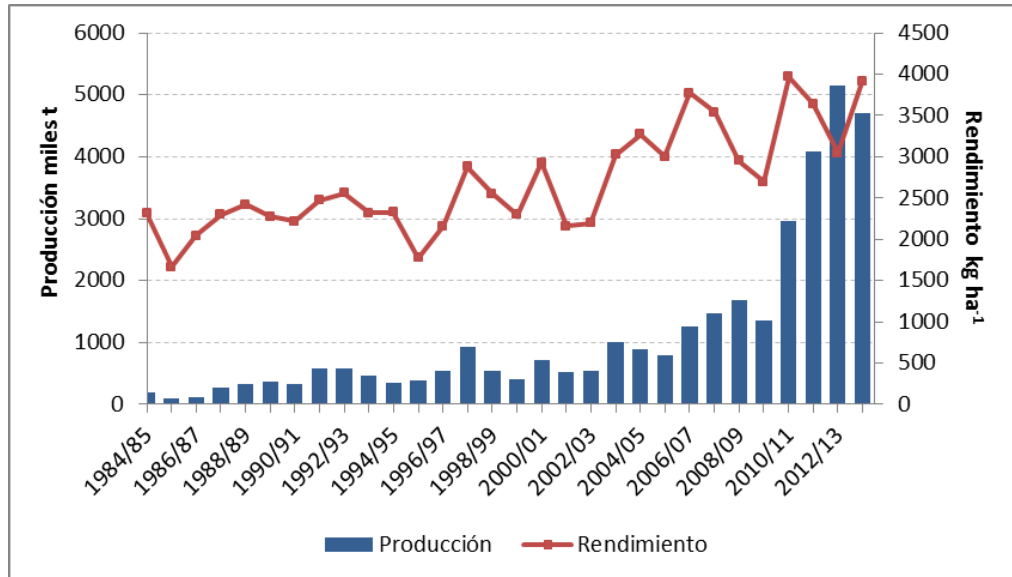


Fig. 1.4. CEBADA CERVECERA. Producción y rendimiento. Fuente: MAGyP, 2014

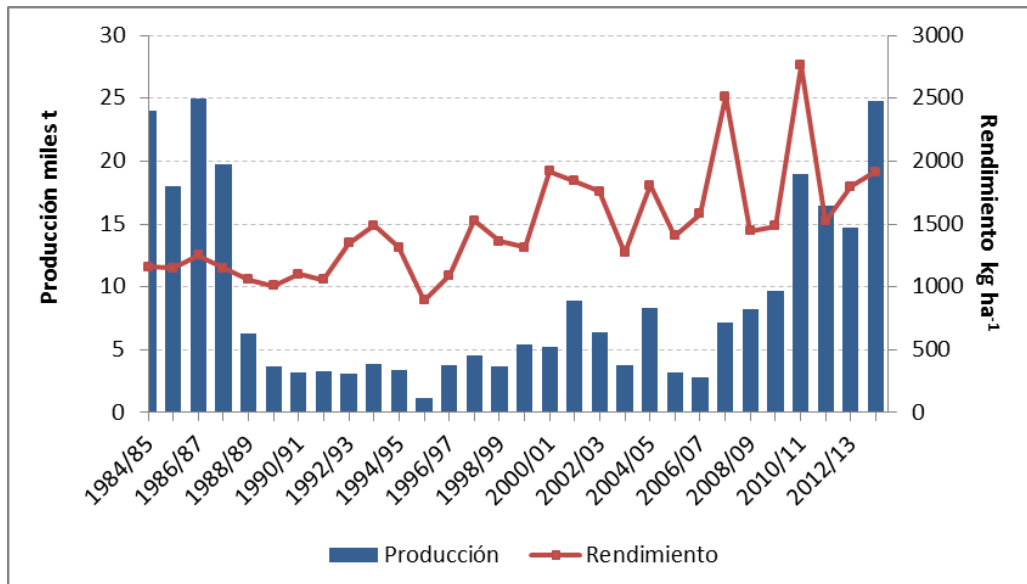


Fig. 1.5. CEBADA FORRAJERA. Producción y rendimiento. Fuente: MAGyP, 2014

La distribución del área sembrada está influenciada por la localización de la industria maltera y los puertos de exportación (Fig. 1.6). La principal provincia productora de cebada cervecera es Buenos Aires de Buenos Aires, con más del 90% de la producción total del país. El porcentaje restante se divide entre las provincias de Santa Fe, Córdoba, La Pampa y Entre Ríos (Fig. 1.7). Las zonas bonaerenses de mayor producción son el centro sur, con aproximadamente un 50% del total, el norte y el sudoeste.

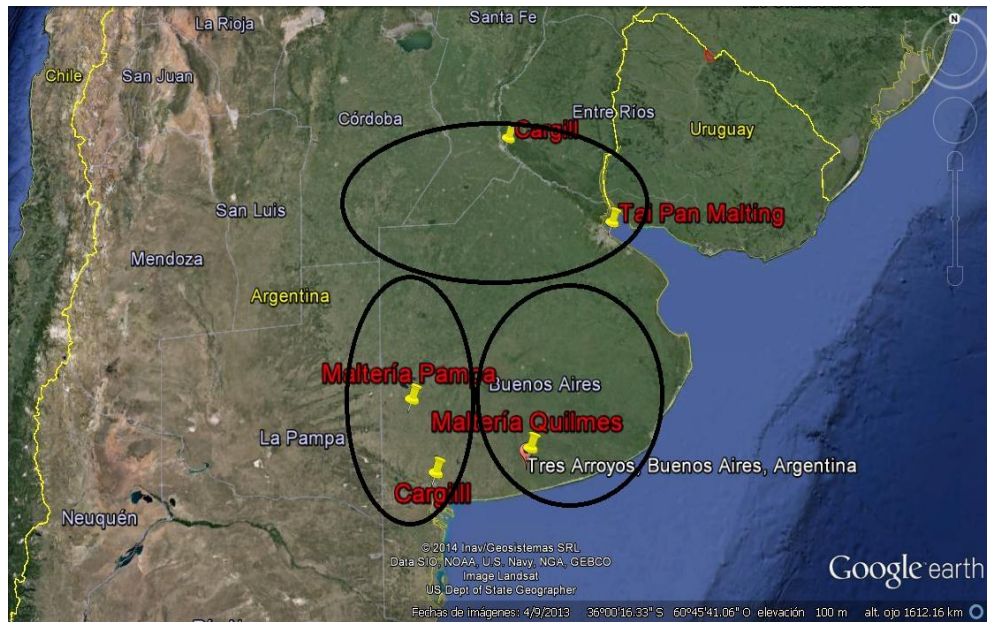


Fig. 1.6. Zonas de producción de cebada cervecera y ubicación de las cinco malterías en Argentina

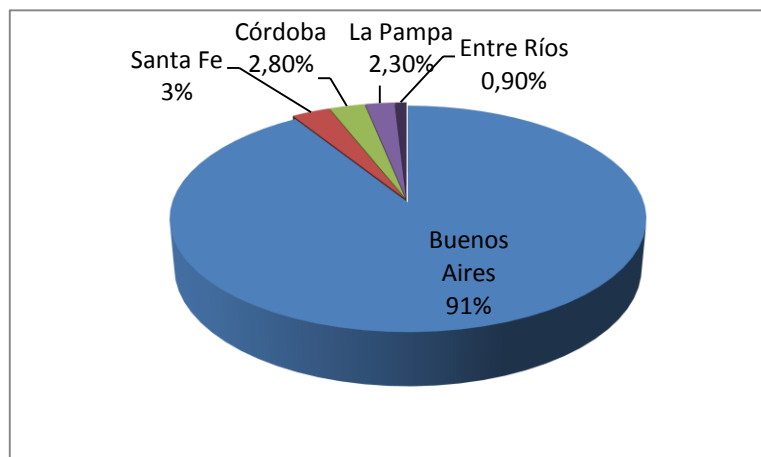


Fig. 1.7. Principales provincias productoras de cebada cervecera en Argentina

La capacidad productiva y de almacenamiento de las cinco malterías que se encuentran en nuestro país se detalla en la Tabla 1.2. Más del 90% de la elaboración de malta está concentrada en tres grandes Malterías: Pampa, Quilmes, y Cargill (Giménez & Tomaso, 2011).

Tabla 1.2. Capacidad productiva y de almacenamiento de las empresas malteras Argentinas.

EMPRESA	LOCALIDAD	CAPACIDAD PRODUCTIVA (t)	CAPACIDAD ALMACENAMIENTO (t)
CERVECERIA Y MALTERIA QUILMES	TRES ARROYOS	200.000	55.000
MALTERIA PAMPA S.A.	PUAN	180.000	140.000
CARGILL	BAHIA BLANCA	90.000	115.000
CARGILL	ROSARIO	135.000	170.000
TAI PAN MALTING	LLAVALLOL	24.000	5.000
TOTAL		629.000	489.000

Fuente: Cámara de la industria cervecera, 2007.

1.3 Uso de la cebada en la fabricación de la cerveza

La cebada es el insumo más importante en la elaboración de la cerveza. La malta se produce haciendo germinar, en forma controlada, los granos de cebada. La síntesis de las enzimas hidrolíticas que luego se utilizarán para degradar el almidón, y modificar la estructura de los granos (matriz proteica y paredes celulares) es llevada a cabo durante la germinación. La germinación es interrumpida mediante el secado de los granos cuando se supone que ambos procesos han llegado al estado deseado. Las características de los granos de cebada asociadas a una mejor calidad industrial tienen un fuerte control genético y algunas están influenciadas por las condiciones ambientales y de manejo. Los granos de cebada cervecera deben mantener la pureza y la identidad del cultivar hasta la elaboración de la malta. Los diferentes cultivares se almacenan en forma individual ya que tienen distinto proceso de malteado y dan como resultado diferentes clases de maltas. Esto limita la oferta de cultivares (Giménez & Tomaso, 2011).

1.4 Comercialización de cebada

La comercialización de cebada se realiza mayormente por contratos con la industria para malteado (con un precio base establecido que corresponde generalmente al 90% del valor del trigo). En los contratos entre las malterías y los productores se establece, además de la calidad que debe tener la mercadería, la superficie a sembrar, el precio de compra, las condiciones de entrega, el flete y los gastos de comercialización (Di Giulio, 2013). El incumplimiento de los exigentes estándares provoca su rechazo para fines industriales, causando una disminución muy importante de su valor, lo que afecta la rentabilidad y desalienta la siembra del cultivo.

Las normas de comercialización de cebada, resultan de los parámetros aceptados por la industria así como también de los parámetros y tolerancias contemplados en las normas internacionales.

Dentro de los parámetros comerciales, los más importantes son el poder germinativo, el contenido de proteínas y el tamaño de los granos. El poder germinativo debe ser alto, superior al 98%, ya que los granos que no germinan no se transforman en malta. El contenido de proteínas es muy importante, por debajo de 10% la cantidad de nutrientes es limitada para que las levaduras realicen la fermentación. A su vez, contenidos de proteínas por encima de 12% enturbian la cerveza durante el proceso de enfriamiento, afectando el sabor de la misma. Además, la eficiencia operativa de las fábricas disminuye si se emplean maltas elaboradas a partir de cebadas con alto contenido de proteína.

Otro requerimiento de la industria es disponer de granos de tamaño grande y uniforme. El tamaño de los granos es establecido por su ancho y no por el peso de los granos a esto se lo denomina calibre y se determina pasando una muestra de granos a través de un conjunto de tres pequeñas zarandas calibradas ([Fig. 1.8](#)). De esta manera es posible clasificar las muestras en cuatro fracciones según su calibre: granos retenidos sobre zaranda de 2,8 mm (fracción I), entre 2,8 y 2,5 mm (fracción II), entre 2,5 y 2,2 mm (fracción III) y menor a 2,2 mm (fracción IV). Se denomina calibre o de primera calidad a los granos retenido sobre la zaranda de 2,5 mm (fracción I+II), los retenidos por la zaranda de 2,2 mm de segunda

calidad y los que pasan esta zaranda son considerados de descarte. (Tomaso, 2003; Prystupa *et al.*, 2014). El estándar de comercialización determina que las partidas deben tener más de 85% sobre zaranda de 2,5 mm (fracción 1 + fracción 2) y menos del 3% de descarte. En las malterías, los granos que no sean de primera calidad son descartados, ya que los granos más pequeños poseen dificultades en la germinación y presentan alto contenido de proteínas y bajo almidón. Esto genera una heterogeneidad no buscada durante el malteo, debido a que estos granos suelen presentar un mayor nivel de dormición y pueden hidratarse más rápidamente que los de mayor tamaño (Briggs, 1998).



Fig. 1.8. Equipo para la determinación de calibre en granos de cebada cervecera.

Fuente: Ahorainfo, 2009

Por último, para no sufrir rebajas en la comercialización, la humedad del grano no debe ser superior al 12,5 %. Todas estas características son muy importantes para una germinación rápida y pareja en el proceso de malteado (Savio & Cattaneo, 2008; Giménez *et al.*, 2008; Magliano *et al.*, 2014).

Debido a que el cultivo de cebada ha mostrado un importante crecimiento tanto en el volumen producido como exportado y a que los países compradores requieren cebadas de distintas calidades, entre otras consideraciones, se hizo necesario reglamentar un nuevo estándar para permitir que nuestro producto tenga mayor competitividad en el mercado. Es por eso que a partir del 1 de octubre de 2014 por resolución 27/2013 SENASA- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, se modifica la Norma V de

calidad y comercialización para operaciones con entrega a partir de dicha fecha donde se establecen las nuevas normas relativas a la calidad y comercialización para “Cebada cervecera” y “Cebada Forrajera” (Tablas 1.3 y 1.4).

En el nuevo estándar comercial vigente del año 2014 las mayores modificaciones se hicieron en los rubros calibre y proteína donde se exige en calibre una tolerancia de recibo mayor a 80% para el material que quede retenido en zaranda de 2,5 mm, y menos del 4% para el que quede por debajo de la zaranda de 2,2 mm. En otros países los requisitos de calibre son aún más exigentes. En cuanto a proteínas la tolerancia de recibo es de 9,5% (SENASA, 2014).

Tabla 1.3. Modificaciones recientes en la base estatutaria de cebada cervecera.

	Hasta 30/09/2014		Nueva Norma de comercialización	
	Base (%)	Tolerancia de recibo (%)	Base (%)	Tolerancia de recibo (%)
Capacidad germinativa	98	95	98	95
Materias Extrañas	.....	0,5	0,5	1,0
Granos Dañados		1,5	0,5	1,5
Granos quebrados y/o pelados				
Carbón	.....	0,2	.....	0,2
Granos picados		0,5	.....	0,5
Bajo Zaranda de dos coma dos (2,2 mm)	.....	3,0	.....	4,0
Bajo zaranda de dos coma cinco (2,5 mm)	.....	85	85	80
Proteína Mínima	10,0	.....	.....	9,5
Proteína máxima	12,0	13,0		13,0
Humedad máxima	12	12,5	12,0	12,5

Fuente: Adaptado de Di Giulio, 2013.

Tabla 1.4. Cambios en el estándar de cebada forrajera.

Tolerancias máximas para cada grado							
Grado	Peso Hectolítrico Mín. (%)	Materias Extrañas (%)	Granos Dañados (%)	Granos quebrados y/o Pelados (%)	Granos con Carbón (%)	Granos Picados Máx. (%)	Humedad Máx. (%)
1	62	0,50	1,00	0,75	0,10		
	62	1,00	1,50	4,00	0,10		
2	59	1,00	2,00	1,00	0,20		
	59	1,50	2,00	6,00	0,20	0,50	14,0
3	56	1,50	3,00	2,00	0,30		
	56	2,00	3,00	8,00	0,30		

Fuente: Adaptado de Di Giulio, 2013, en negrita nuevo estándar de cebada

1.5 Importancia del nitrógeno para la producción de cebada cervecera de buena calidad

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento de cebada cervecera. Las deficiencias de N producen sobre el cultivo un menor número de macollos, hojas más pequeñas y así una menor área foliar, en consecuencia con la fertilización nitrogenada la cantidad de radiación solar que captan los cultivos se ve incrementada (Arisnabarreta & Miralles, 2006).

La absorción de N por el cultivo está regulada por su disponibilidad en el suelo y por la propia demanda del cultivo. En el caso de la cebada, la absorción de N es lenta durante las primeras etapas de desarrollo, reflejando la relativamente baja velocidad de crecimiento. Hacia fines del macollaje y durante encañazón la absorción se acelera y llega a sus valores máximos en antesis (Carreck & Christian 1991, Delogu *et al.*, 1998; Lazzari *et al.*, 2005).

Después de antesis los compuestos nitrogenados para el crecimiento del grano están suministrados principalmente por la biomasa aérea (62-80%), el resto de la absorción y removilización se origina de las raíces (Spiertz & de Vos.1983, Dordas, 2011). El índice de cosecha del N (ICN), es decir la proporción del elemento en el grano respecto del total absorbido por la planta, es de 0,7 (Lazzari *et al.*, 2005, Ciampitti & García, 2007).

Cuando el grano en formación entra en su fase exponencial de crecimiento, que se asemeja al de la curva sigmoidea de la planta entera, la energía necesaria para su llenado proviene de la fotosíntesis de la anteúltima hoja y órganos superiores. El llenado del grano es una etapa crucial tanto para el rendimiento como para la calidad maltera. Altas temperaturas en conjunción con deficiencias hídricas acortan su duración, produciendo granos de bajo peso por senescencia anticipada.

Las nuevas variedades de cebada presentan una mayor respuesta del rendimiento a la aplicación de N (Prystupa, 2005), debido a la mejora en el número de granos por unidad de superficie. La acumulación de N difiere entre los distintos genotipos de cebada posiblemente asociado a la variación del ICN (Bingham, 2011). Los cultivares más modernos presentarían un ICN mayor y con mayor número de granos, aumentando la absorción de N en postfloración y alterando así la relación removilización-absorción (Abeledo, *et al.*, 2007).

La relación esquemática entre la disponibilidad de N y el rendimiento y calidad del grano ha sido claramente descrita para trigo (Fig. 1.10) Se pueden distinguir tres zonas: en la primera (niveles bajos), la aplicación de N tiende a incrementar el rendimiento, y disminuir el porcentaje de proteína, por un efecto de dilución. En situaciones de disponibilidad media (zona II) el rendimiento exhibe la clásica curva de respuesta con retornos decrecientes, mientras que el porcentaje de proteína aumenta en forma lineal. En la zona III el cultivo alcanza el rendimiento máximo y el agregado de fertilizante no afecta a la cantidad de almidón en el grano, pero aumenta el contenido de proteína. La relación detallada ha sido confirmada para cebada cervecera en varios trabajos científicos (Birch *et al.*, 1997; Conry, 1997; Loewy & Ron, 2000; Savin & Aguinaga, 2011).

Además de la disponibilidad de N, otros factores que interactúan entre sí son responsables de variaciones en la calidad del grano (de Ruiter & Haslemore, 1996; Matthiess *et al.*, 2002). En ambientes con algún tipo de estrés se han observado efectos adversos sobre la calidad de los granos. Varios autores (Rausch *et al.*, 2003; Prystupa, 2005; Prystupa *et al.*, 2008; Ross *et al.*, 2010b) reportaron que un estrés durante el llenado de granos puede provocar una reducción de su peso individual, cuya magnitud depende de la severidad y duración de la

limitación. En concordancia con lo anterior, Ross *et al.* (2010b) concluyó que el efecto negativo de la fertilización nitrogenada sobre el calibre del grano es notoriamente superior en los ambientes con mayores limitaciones. Sin embargo, los resultados encontrados por los distintos autores, presentan una gran variabilidad (Echague *et al.*, 2001; Loewy *et al.*, 2008; Ross, *et al.*, 2010a).

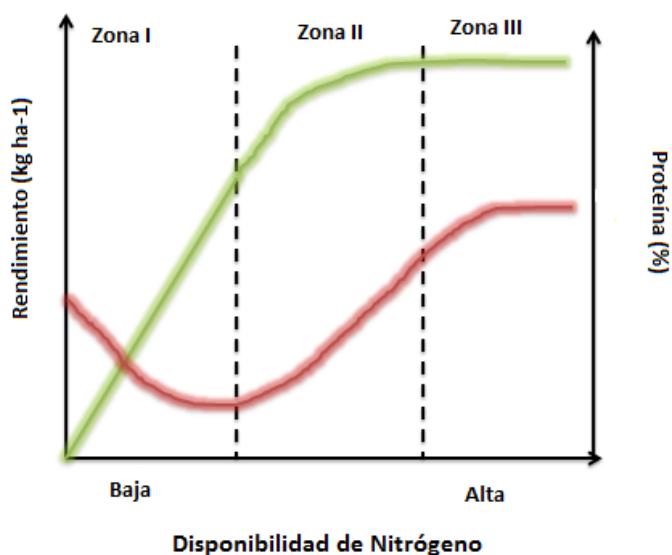


Fig. 1.10 Relación entre N disponible en función del rendimiento y la calidad. Fuente: Stone & Savin 1999.

1.6 Uso de modelos en agricultura

Se define como modelo a la “representación simplificada de un sistema”. De la definición surge la obvia relación con el término “sistema”. En definitiva, un modelo es un intento de abstraer los detalles esenciales de situaciones reales.

Los modelos se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios. Por su naturaleza, pueden ser físicos o abstractos (mentales o simbólicos). Los modelos abstractos basados en ecuaciones matemáticas tienen una resolución analítica y tienden a una cuantificación del sistema que desean representar. A su vez, estos últimos se pueden clasificar en mecánicos o empíricos. El enfoque mecánico construye el modelo antes de los experimentos y el experimento prueba sus hipótesis. Un modelo empírico se basa sólo en observación y

experimentación y no en la teoría. Un modelo puramente empírico simplemente redescubre los datos y no da lugar a ninguna información que no esté contenida en los mismos.

France & Thornley (1984) resumieron las ventajas del uso de modelos matemáticos en investigación, entre las que se destaca el avance en la comprensión cuantitativa. En agricultura el uso de modelos empíricos es de importancia creciente, tanto en investigación como en el desarrollo de tecnología. Un caso particular es el de diagnóstico de fertilidad y recomendaciones de fertilización. Con la aplicación de procedimientos estadísticos adecuados es posible hacer un uso óptimo de datos científicos, lo que permite su aplicación para casos prácticos.

1.7 Algunos modelos empíricos desarrollados para predecir la respuesta a la fertilización nitrogenada en cebada cervecera en la provincia de Buenos Aires

En el SO bonaerense, Ron y Loewy (1996) realizaron un análisis continuo de la fertilización con N y fósforo en 3 sitios de ensayo, ajustando una ecuación cuadrática para los dos nutrientes que incluía un término de interacción. Realizaron interpolación entre dosis para estimar las combinaciones más económicas de N y P, según el sitio. Para la misma zona, Loewy & Ron (2000) reportaron los resultados de 11 ensayos con tres variedades diferentes, de los cuales derivaron un modelo que asoció el rendimiento y la respuesta a N mayormente con precipitaciones mensuales o anuales.

En distintas zonas de la provincia, Rausch *et al.* (2003) utilizaron ecuaciones cuadráticas para relacionar el rendimiento y la proteína con el N disponible (suelo + fertilizante aplicado en emergencia). Para 3 años de ensayos con Quilmes Palomar (1999, 2000 y 2001) ajustaron diferentes ecuaciones que combinaban datos de siete, seis y siete experimentos, en ese orden. Con datos provenientes de la misma red, Landriscini *et al.* (2004) estudiaron la eficiencia relativa de la fertilización nitrogenada en dos épocas. Aplicaron el concepto de valor de

sustitución descripto por Colwell & Goedert (1988) y relacionaron dicho valor con el contenido inicial de N de nitratos⁻ en el suelo.

Prystupa *et al.* (2008) condujeron una red de 19 ensayos con la variedad Scarlett en el sur y norte de la provincia. Para resumir los resultados, desarrollaron una regresión del rendimiento en función de la oferta de N (suelo + fertilizante) para los cinco ambientes de mayor rendimiento. Una vez aproximado el rendimiento es posible estimar el % de proteína aplicando una función que utiliza como variable predictiva el cociente entre la oferta de N y el rendimiento obtenido. En ambos casos utilizaron ecuaciones cuadráticas.

1.8 HIPOTESIS Y OBJETIVO GENERAL

De lo expuesto se desprende la hipótesis de que los modelos empíricos pueden contribuir a resumir datos experimentales, describir y explicar la respuesta a la fertilización con interpolación/extrapolación de las dosis utilizadas, y relacionar variables del cultivo entre sí, y con las de sitio.

El objetivo general de la presente tesis es la obtención de modelos empíricos que combinen información y generalicen resultados de ensayos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera.

1.9 BIBLIOGRAFIA

- Ahorainfo, 2009. <http://ahorainfo.com.ar/2009/11/educativas-visita-alumnos-curso-clasificacion-oleaginosas-del-cfp-403-a-la-cooperativa-gral-necochea/>. Fecha de último acceso 10 de Junio de 2014
- Abeledo, GL; DF Calderini & GA Slafer. 2007. Nitrogen Economy in old an modern malting barley. *Field Crop Research* 106: 171-178.
- Abeledo, LG; DF Calderini & GA Slafer. 2003. Genetic improvement of barley yield potential and its physiological determinants in Argentina. *Euphytica* 133: 291-298.

- Alzugaray, J. 2013. Mercado de la cebada: Realidad y perspectivas. En: 4^{to} congreso latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca. Actas en CD Rom.
- Antonelli, ME. 2014. Cebada 2013/14. ¿Dónde va nuestra producción? <http://infosudoeste.com.ar/adjuntos/file/35%202014-02%20Cebada%20Puerto.pdf>.
Fecha de último acceso: Mayo de 2014.
- Arisnabarreta, S & D Miralles. 2006. Yield responsiveness in two and six-rowed barley growing contrasting nitrogen environments. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192:178-185.
- Bingham, IJ. 2011. Analysis of improvements in nitrogen efficiency associated with 75 years of spring barley breeding European. *Journal of Agronomy* 42: 49-48.
- Birch, CJ; S Fukai & IJ Broad. 1997. Estimation of responses of yield and grain protein concentration of malting barley to nitrogen fertiliser using plant nitrogen uptake. *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 635-48.
- Briggs, DE. 1998. Malts and malting. Blackie Academic Professional. Londres. 796 p.
- Cámara de la industria cervecera Argentina. 2007. <http://www.camaracervecera.com.ar/capacidad-anual-de-produccion-de-malta.php>
Fecha de último acceso: Marzo de 2014.
- Carreck, NL & DG Christian. 1991. Studies on the patterns of nitrogen uptake and translocation to grain of winter barley intended for malting. *Annals of Applied Biology* 119: 549-559.
- Cattaneo, M. 2013. El cultivo de cebada en Argentina. En: 4^{to} congreso latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca. Actas en CD Rom.
- Ciampitti, I.A.; García, F.O. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas* N° 33, *Archivo Agronómico* N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Tomado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/755CD604735F8F148525799500785A15/\\$FILE/IA33.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/755CD604735F8F148525799500785A15/$FILE/IA33.pdf). Fecha último acceso: 13 de octubre de 2014.

- Colwell, JD & WJ Goedert. 1988. Substitution rates as measures of the relative effectiveness of alternative phosphorus fertilizers. *Fertilizer Research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 15:163-172.
- Conry, MJ. 1997. Effect of fertilizer N on the grain yield and quality of spring malting barley grown on five contrasting soils in Ireland. *Biology Environmental Science*. 97: 185–196.
- Delogu, G; L. Cattivelli; N Pecchioni; D De Falcis; T Maggiore & AM Stanca (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.
- de Ruiter, JM & RM Haslemore. 1996. Role of nitrogen and dry matter partitioning in determining the quality of malting barley. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 77-87.
- Di Giulio, AM. 2013. Normas de comercialización de cebada en Argentina. En: 4^{to} congreso latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca. Actas en CD Rom.
- Dordas, C. 2011. Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source-sink relations. *European Journal of Agronomy* 37: 31-42.
- Echagüe, M; MR Landriscini; S Venanzi & A Lazzari. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. *INPOFOS del Cono Sur* 10: 5-8.
- FAO, 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical.
- Ferraris, G. 2009. Fertilización nitrogenada de trigo y otros cereales de invierno. Criterios de manejo para incrementar su eficiencia.
<http://www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris/Fertilizacionnitrogenadadetrigoycerealesinvierno.pdf>. Fecha de último acceso: Julio de 2014.
- France, J & JHM Thornley. 1984. *Mathematical models in Agriculture*, Butterworths, London, 335 p.

- Gimenez, F & JC Tomaso. 2011. Evaluación de cultivares de cebada cervecera en Balcarce. Disponible en. <http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-cultivares-de-cebada-cervequera-en-balcarce/> . Fecha de último acceso: Noviembre de 2013.
- Giménez, F; V Conti; F Moreyra & J Tomaso. 2008. Efecto de la época de siembra sobre los caracteres económicos en genotipos de cebada cervecera. VII Congreso Nacional de Trigo y V Simposio Nacional de Cereales de siembra Otoño-Invernales. Santa Rosa, La Pampa. Acta: S 7.
- Landriscini, MR; L Suñer; A Rausch; A Lázzari & MM Policano. 2004. Eficiencia del nitrógeno aplicado en dos momentos de ciclo de la cebada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos. Resúmenes 173. Actas en CD Rom.
- Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2005. Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. Ciencia del Suelo 23: 69-77.
- Loewy, T; R Bergh; G Ferraris; L Ventimiglia; FH Gutiérrez Boem & P Prystupa. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera Cv. Scarlett: I. Efecto del Nitrógeno inicial. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Actas en CD Rom.
- Loewy, T & MM Ron. 2000. Fertilización de cebada cervecera con nitrógeno y fósforo en el S. O. bonaerense. I Comparación directa con el trigo. XVII congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.
- Magliano, P; P Prystupa & F Gutierrez Boem. 2014. Protein content of grains of different size fractions in malting barley. J. Inst. Brew. 120: 347–352.
- MAGyP, 2014. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Estimaciones y Estadísticas. <http://www.siiia.gov.ar/>. Verificado Septiembre de 2014.
- Matthiess, W; M Serre, & M. Cattáneo. 2002. Fertilización nitrogenada en una variedad de cebada cervecera de alto potencial de rendimiento en la Argentina. Anales de la XXII Reunião Anual de Pesquisa de Cevada. Passo Fundo, Brasil.

- Prystupa, P; G Ferraris; L Ventimiglia; T Loewy; R Bergh; L Couretot & FH Gutierrez Boem. 2014. Fertilización nitrogenada y azufrada en Cebada Cervecera cv. Scarlett: Efectos sobre el calibre. En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. 5-9 de Mayo de 2014. Actas en CD Rom.
- Prystupa, P; G Ferraris; R Bergh; T Loewy; L Ventimiglia & FH Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Actas en CD Rom.
- Prystupa P. 2005. Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Editores: Echeverria H & Garcia F Grancharoff Impresores. Capítulo 15, 317 p.
- Pržulj, N & V Momčilović. 2011. Importance of spikelet formation phase in the yield biology of winter barley. Field and Vegetable. Crops Research. 48(1): 37-48.
- Rausch, AF; MA Lázzari & MR Landriscini. 2003. Cebada cervecera. Disponibilidad de N en el suelo y su influencia en el rendimiento de este cultivo con buena calidad maltera. Revista Fertilizar N° 32: 13-17.
- Ron, MM & T Loewy. 1996. Análisis de la respuesta de cebada cervecera a nitrógeno y fósforo en tres suelos del Sudoeste Bonaerense (Argentina). Ciencia del Suelo 14: 47-49.
- Ross, F; J Massigoge & M Zamora. 2010 a. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera Cv Scarlett: Parte I Rendimiento. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. p 142.
- Ross, F; J Massigoge & M Zamora. 2010 b. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera Cv Scarlett: Parte II Calidad. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. p 148.
- Savin, R & A Aguinaga. 2011. Los requerimientos de la industria: Calidad comercial e industrial y sus determinantes. En Cebada cervecera. Eds. Miralles DJ; Benech-Arnold RL, Abeledo LG. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp 205-241.

- Savio H & M Cattaneo. 2008. Cebada cervecera, calidad comercial y su relación con la calidad maltera. Disponible en www.cabcbue.com.ar. Fecha de último acceso: Mayo de 2014.
- SENASA, 2014. Resolución 27/2013 S.A.G.P.y A. Norma V - cebada, Anexo A – Cebada Cervecera. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1592&io=26331>. Fecha de último acceso: Octubre de 2014.
- SIIA, 2014. Sistema integrado de información agropecuaria. [www.sii.gov.ar/ apps/siia/estimaciones/estima2.phpo](http://www.sii.gov.ar/apps/siia/estimaciones/estima2.phpo). Fecha de último acceso: Abril de 2014.
- Spiertz, J & N deVos. 1983. Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant and Soil* 75: 379-391.
- Stone, PJ & R Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants, R. Editors Satorre, E. H.; Slafer, G. A. Book *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. pp. 85-120 ISBN 1-56022-874-1.
- Tomaso, JC. 2003. Cebada Cervecera en la Argentina idia XX1. pp.210-216.
- USDA. 2014. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. Fecha de último acceso: Abril de 2014.

CAPITULO 2

ANALISIS PRELIMINAR DE UNA BASE DE DATOS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CEBADA CERVECERA

2.1 INTRODUCCION

2.1.1 Antecedentes de la base de datos

En la zona de influencia de la Universidad Nacional del Sur están asentadas tres malterías, lo que da cuenta de la importancia de este cultivo en el área. En 1998 se inició en el Departamento de Agronomía de esta casa de estudios un proyecto multidisciplinario denominado “Fertilización nitrogenada en cebada cervecera” (1999-2008, PGI N° 24/A068, 24/A103, 24/A137). El objetivo fue profundizar, entre otros, aspectos relacionados con la productividad y la calidad del cultivo, a través de experiencias cuyos resultados contribuyeran a incrementar el conocimiento de la dinámica del N en el sistema suelo-clima-cebada cervecera. Dicho proyecto interdisciplinario contó con el apoyo de especialistas del mencionado Departamento, del INTA EEA Bordenave, de la CHEI Barrow y de las Empresas Maltería y Cervecería Quilmes SAICAyG y Maltería Pampa SA.

El estudio se estructuró en cuatro subproyectos:

“Absorción de N15 de urea aplicada a suelos cultivados con cebada cervecera”. Se estudió la dinámica del nitrógeno adicionado como urea marcada durante varios ciclos del cultivo y diferentes agrosistemas. Los tratamientos fertilizados incluyeron microparcelas isotópicas con fines de utilización de la metodología N15. Se estudiaron los efectos de diferentes dosis de nitrógeno, aplicado en dos momentos del ciclo del cultivo, sobre el rendimiento y el nivel proteico de los granos.

“Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera”. Se estudiaron las relaciones entre las condiciones ambientales de desarrollo del cultivo (lluvia, temperaturas, disponibilidad de N, etc.), la composición de las proteínas de reserva y la calidad maltera de los granos. Se analizó la influencia de

diferentes proporciones de grupos proteicos sobre los parámetros de calidad de malta. Se identificaron las variables ambientales que mejor explicaron el contenido de proteína total del grano y las variables climáticas de mayor relación con la calidad maltera.

“Cuantificación y caracterización bioquímica del almidón de cebada cervecera: influencia de las condiciones de cultivo”. Además del objetivo planteado en el título, se analizó la influencia de características del almidón en el proceso de malteado.

De los resultados de los tres subproyectos surgieron sendas Tesis de Magister (Echagüe, 2004; Aguinaga, 2004; López, 2006). También se han derivado hasta el presente numerosas publicaciones que contemplan distintos aspectos de los ensayos realizados (Ver ANEXO I).

En el marco del último subproyecto *“Diagnóstico de fertilidad y recomendaciones de fertilización nitrogenada en cebada cervecera”* se recopilaron y ordenaron todos los resultados registrados de variables de sitio edáficas y climáticas y de cuatro variables del cultivo. Con esta información se organizó una base de datos.

2.1.2 Análisis preliminar

El análisis formal de datos de forma rápida y eficiente requiere una fase preliminar para conocer las variables que pueden ser incluidas en los modelos estadísticos y avanzar en la identificación de las covariables. Esta fase incluye la estadística descriptiva y el análisis multivariado, procedimiento apropiado cuando hay más de dos variables de respuesta por caso.

El análisis de componentes principales es una técnica estadística que transforma linealmente un conjunto de variables originales en otro, sustancialmente menor, que representa la mayor parte de la información original. Presenta – entre otras ventajas - dos características importantes: 1) se descubren interrelaciones entre los datos y 2) en muchos casos, los primeros componentes, explican la mayor parte de la variación total contenida en los datos originales.

Este análisis se ha aplicado exitosamente en distintas disciplinas dentro de las ciencias agrícolas, contribuyendo a mejorar la comprensión de la estructura de un conjunto de datos (Mead *et al.*, 2002).

En este capítulo se describe el diseño y los sitios de ensayo y se realiza un análisis preliminar de la base de datos organizada con los resultados del mencionado proyecto. El análisis exploratorio de datos se continúa en el capítulo siguiente, con objetivos adicionales. En el Anexo II se detallan los criterios para seleccionar la cantidad de ensayos utilizados en cada capítulo.

2.2 MATERIALES Y METODOS

El área de estudio y los partidos involucrados se muestran en la [Fig. 2.1](#). Los sitios fueron nombrados teniendo en cuenta la localidad más cercana en cada partido como se muestra en la [Tabla 2.1](#), junto con el número de ensayos llevados a cabo cada año. Los suelos pertenecen al orden Molisoles, suborden Udoles, a excepción de unos pocos sitios situados al sur y al sudoeste de la zona de estudio (Bordenave, San Miguel y Cabildo) donde clasificaron como Ustoles (Soil Survey Staff, 2010).

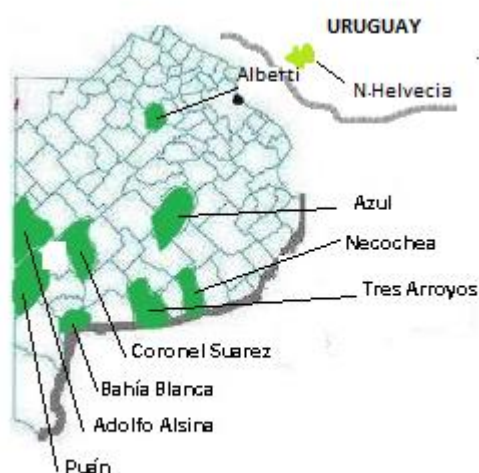


Fig. 2.1. Área de estudio de los ensayos a campo.

Tabla 2.1. Localización de los sitios de ensayo y años.

Partido	Sitio	Abreviatura	1999	2000	2001	2002 ^(a)	Nº
Alberti	Alberti	ALB	1	1		1	3
Azul	Azul	AZUL	1				1
Púan	Bordenave	BORD	1	1	1 ^(b)	1 ^(b)	4
C. Suarez	C. Suarez	CSUA	1				1
Bahía Blanca	Cabildo	CAB				1	1
Tres Arroyos	Cascallares	CASC		1			1
Tres Arroyos	CMQ	CMQ				1	1
Tres Arroyos	CMQ Temprana	CMQTE			1		1
Tres Arroyos	CMQ Tardía	CMQTA			1		1
Tres Arroyos	La Constancia	CONS			1	1	2
Necochea	La Dulce	DUL				1	1
Necochea	La Dulce	DULTE			1		1
Necochea	La Dulce Tardía	DULTA			1		1
Saavedra	Pigüé	PIG	1	1			2
Púan	Púan	PUAN		1		1	2
Tres Arroyos	San Mayol	SMAY	1				1
Adolfo Alsina	San Miguel	SMIG			1 ^(c)		1
Tres Arroyos	Tres Arroyos	TSAS	1	1			2
Uruguay	Nueva Helvecia	URU	1 ^(b)				1
	Total		8	6	7	7	28

a) en 2002 no se realizaron tratamientos de 90 y 120 kg N ha⁻¹ en emergencia, b) diseño con solo tres bloques, c) sin fertilización con 60 kg N ha⁻¹ macollaje.

En el proyecto se estudió el efecto de la dosis y momento de aplicación de N sobre el rendimiento y calidad de la cebada cervecera (*Hordeum vulgare L.*). Se sembró la variedad Quilmes Palomar a una densidad de 280 semillas viables m⁻² y se aplicó una dosis de 20 kg P ha⁻¹ como superfosfato triple en la línea de siembra. El diseño consistió en 4 bloques completos al azar, con ocho tratamientos (dosis y época de aplicación de N) que se detallan en la [Tabla 2.2](#). La fuente nitrogenada fue urea (46-0-0) aplicada al voleo. El tamaño mínimo de la parcela fue de 2m x 7m.

Tabla 2.2. Tratamientos de fertilización y abreviaturas

Tratamiento	Abreviatura	Dosis aplicada en emergencia, kg N ha ⁻¹	Dosis aplicada en macollaje, kg N ha ⁻¹	Dosis total, kg N ha ⁻¹
1	Testigo	0	0	0
2	30e	30	0	30
3	30m	0	30	30
4	60e	60	0	60
5	60m	0	60	60
6	30e-30m	30	30	60
7	90e	90	0	90
8	120e	120	0	120

Los tratamientos fueron los mismos en todos los ensayos entre 1999 y 2001. En 2002 las dosis de 90 y 120 kg N ha⁻¹ no se incluyeron. Otros cambios menores en el diseño general de tres de los ensayos se describen en la [Tabla 2.3](#).

En madurez fisiológica las parcelas fueron cosechadas manualmente, se extrajeron plantas de un área de 1 x 4 m para evaluar rendimiento de materia seca total y de los granos (REND). Las determinaciones post cosecha incluyeron peso de mil granos (PMIL), N total en grano por Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982) y calibre (CALIBRE). La proteína (PROT) se estimó multiplicando el % de N en grano por 6,25. El rendimiento y la proteína están expresados sobre grano con 13,5% de humedad. Más detalles sobre los ensayos se pueden encontrar en Echagüe *et al.* (2001) y Lazzari *et al.* (2005, 2007).

Se calculó la media y el desvío estándar para las cuatro variables en cada ensayo. Para tener en cuenta el efecto de la fertilización sobre la calidad del grano, se individualizaron las unidades experimentales de cada ensayo en que el grano satisfizo los requisitos para maltería, de acuerdo con el nuevo estándar de comercialización del SENASA ([Tablas 1.3 y 1.4](#))

Se analizó la interdependencia de las 4 variables determinadas mediante un análisis de componentes principales. Este se realizó con el conjunto de los datos a) sin criterio de clasificación y b) utilizando como criterio de clasificación a los tratamientos de fertilización.

Se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Estadística descriptiva

La Tabla 2.3 muestra la gran variabilidad en rendimiento y calidad entre sitios y años. El REND medio osciló entre 1177 (BORD99) y 4692 (DUL02) kg grano ha⁻¹. Echague *et al.* (2001), atribuyeron los menores rendimientos de BORD99 a una importante helada durante el período de llenado de granos. El ensayo con mayor CALIBRE y PMIL fue BORD01, correspondiendo los menores valores a un ensayo del mismo año (CMQTE01). En este último, el calibre promedio fue notablemente menor que el resto de los ensayos. Solo 15 de los experimentos tuvieron una media para el calibre igual o mayor al 80%. En comparación, las medias de la proteína se ubicaron dentro del estándar en un 71% de los casos, indicando que la variable crítica para que los granos satisficieran la calidad maltera fue el calibre.

El año 1999, señalado por Echague *et al.* (2001) como de condiciones hídricas desfavorables, especialmente durante la etapa de llenado de granos, presentó en su conjunto los valores menores de REND y mayores de PROT. Lo opuesto ocurrió en el año 2000 con condiciones mucho más favorables, (Lázzari *et al.*, 2007). El año 2001, en cambio, se caracterizó por exceso de lluvias durante todo el ciclo (Aguinaga, 2004).

2.3.2 Individualización de parcelas con rendimiento y porcentaje de proteína aceptables

Las medias de la Tabla 2.3 son orientativas para discriminar entre ensayos y años. La ponderación de la calidad se amplía en la Tabla 2.4. De los 27 ensayos con datos de proteína y calibre, sólo en dos todos los parámetros de calidad entraban dentro de la tolerancia de recibo. Se contabilizaron cinco ensayos en que menos del 10% del producto tuvo calidad adecuada. Además se aprecia en la Tabla 2.4 que, en los 18 experimentos restantes, los tratamientos de fertilización tuvieron un efecto negativo al menos en una de dos variables que hacen a la calidad del grano para maltería (PROT y CALIBRE). En un 45%, las parcelas testigo y con 30e produjeron grano de calidad adecuada y la pérdida de calidad por

fertilización,- ocurrió principalmente en las parcelas con la dosis mayor de N y/o cuando fue aplicado en macollaje. Menos del 5% de la cebada dentro de la tolerancia de recibo provino de las parcelas fertilizadas con 90 y 120 kg N ha⁻¹ en emergencia.

Tabla 2.3. Promedio y desvío estándar para las variables medidas en los ensayos

AÑO	ENSAYO	N	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Calibre (%)		Proteína (%)		Peso mil granos (g)	
			Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
1999	ALB99	32	3286	478	81,3	4,6	14,3	1,2	40,5	1,2
1999	AZUL99	32	4546	655	84,8	4,6	12	1,3	43,3	1,1
1999	BORD99	32	1177	212	78,8	2,9	15,7	1,1	36,7	1,5
1999	PIG99	32	2352	468	88,5	4,4	13,9	1,2	41,4	1,9
1999	SMAY99	32	2673	832	85,2	7,5	11,4	1,2	40,3	2,2
1999	CSUA99	32	4514	321	95,7	1,4	12,6	1,4	47,1	1,2
1999	TSAS99	32	2008	222	85,1	11,9	13,8	1,6	41,0	2,2
1999	URU99	24	1655	367	85,4	2,9	14,2	1,1	43,6	0,9
2000	ALB00	32	4136	416	79,4	6,7	12,7	0,6	37,9 ^(a)	3,3
2000	BORD00	32	3451	942	90,1	5,7	9,6	1,3	46,2	1,9
2000	CASC00	32	4224	419	77,6	6,2	11,7	1,0	38,4	3,3
2000	PIG00	32	2983	640	93,8	2,2	12,3	1,1	46,6	1,5
2000	PUAN00	32	4479	885	65,6	21,2	11,2	1,5	40,4 ^(b)	5,0
2000	TSAS00	32	3817	384	76,8	8,7	11,9	1,0	41,0	3,2
2001	BORD01	21	1854	375	95,8	1,0	10,5	0,5	47,5	1,0
2001	CMQTE01	31	3148	453	49,9	10,9	12,9	1,3	34,0	2,2
2001	CMQTA01	31	3363	524	76,7	7,4	12,7	1,1	40,4	2,7
2001	CONS01	32	3554	365	66,4	9,3	12,8	0,6	36,0	3,7
2001	DULTE01	32	4184	567	68,9	11	13,4	0,7	37,3	2,1
2001	DULTA01	32	4429	608	78,6	4,9	13,6	0,3	39,4	2,2
2001	SMIG01	32	2078	398	80,3	6,8	10,8	0,8	39,7	2,3
2002	ALB02	24	2564	336	68,6	6,9	13,7	0,4	34,9	1,4
2002	BORD02	24	1926	582	s.d.		10,4	0,8	s.d.	
2002	CAB02	24	3178	470	91,4	1,3	11,7	0,6	43,5	0,6
2002	CMQ02	24	3185	413	79,7	5,9	12,7	0,7	44,4	1,3
2002	CONS02	24	3842	454	80,3	4,7	11,9	0,7	44,2	1,2
2002	DUL02	24	4692	634	92,1	2,9	11,8	0,4	46,5	1,8
2002	PUAN02	24	3470	499	87,2	5,6	10,9	0,4	42,9	1,1

n= número de parcelas cosechadas, s.d. sin dato, a y b) promedios sobre 31 y 29 casos, por datos faltantes.

Tabla 2.4. Producción de grano dentro de la tolerancia de recibo. Causas de rechazo, según ensayo

N° de parcelas con grano aceptable											N° de parcelas con grano rechazado		
CALIBRE $\geq 80\%$ y PROT en el rango de 9,5 a 13%											CALIBRE	PROT	PROT
ENSAYO	n	0	30e	30m	60e	60m	30e-30m	90e	120e	suma	<80%	<9,5%	>13%
ALB 99	32	4	1	0	0	0	0	0	0	5	14	0	27
AZUL 99	32	3	3	4	4	3	2	3	2	24	4	1	6
BORD99	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	32
PIG99	32	2	3	2	1	0	0	0	0	8	3	0	24
SMAY 99	32	2	2	4	4	4	4	3	0	23	6	1	4
CSUA 99	32	4	4	4	3	3	3	0	0	21	0	0	11
TSAS99	32	3	3	3	1	1	0	0	0	11	7	0	21
URU99	24	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	22
ALB00	32	3	3	2	3	2	2	0	0	15	15	0	10
BORD00	32	0	1	1	1	0	1	0	1	5	4	20	1
CASC00	32	1	0	1	2	3	1	3	1	12	20	0	4
PIG00	32	4	4	4	4	3	4	2	0	25	0	0	7
PUAN00	32	1	0	0	1	0	1	0	0	3	21	3	6
TSAS00	32	4	2	2	1	0	1	0	0	10	22	0	8
BORD01	21	3	3	3	3	sd	3	3	3	21	21	0	0
CMQTE01	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	15
CMQTA01	31	2	1	2	1	2	1	0	1	10	18	0	13
CONST01	32	1	0	1	0	0	0	0	0	2	29	0	10
DULTE01	32	2	1	1	0	0	0	0	0	4	28	0	25
DULCTA01	32	0	0	1	0	0	1	0	0	2	19	0	30
SMIG1	32	3	3	3	3	2	4	2	1	21	11	0	0
ALB02	24	0	0	0	0	0	0	0	-	0	24	0	22
BORD02	24	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
CAB02	24	4	4	4	4	4	4	-	-	24	0	0	0
CMQ02	24	4	1	2	2	0	1	-	-	10	12	0	6
CONS02	24	1	3	3	3	2	2	-	-	14	10	0	2
DULC02	24	4	4	4	4	4	4	-	-	24	0	0	0
PUAN02	24	4	4	4	3	2	4	-	-	21	3	0	0

sd: sin dato de proteína y calibre; Tratamientos: ver Tabla 2.2; PROT: proteína.
99: año 1999; 00: año 2000; 01: año 2001; 02: año 2002.

2.3.3 Componentes principales

El análisis de componentes principales es una técnica clásica utilizada para la comprensión y la visualización de las características del conjunto de datos (Duntemann, 1989). Los autovectores (e_1 y e_2) reportados en [Tabla 2.5](#) muestran los coeficientes con que cada variable original fue ponderada para conformar los CP1 y CP2 en los biplots de [Fig. 2.2](#).

En la Fig. 2.2 a y b, las variables son graficadas como vectores desde el origen. La longitud relativa de cada vector representa la proporción relativa de la variabilidad aportada por cada variable. El coseno de los ángulos entre las variables describe la correlación entre las mismas: alta correlación positiva entre CALIBRE y PMIL y negativa de estas dos con PROT. El REND tuvo baja correlación con las otras tres variables, según surge del ángulo entre los vectores. Estas correlaciones confirman, la gran dependencia del REND con el número de granos por sobre la relación con su peso (Loewy & Ron, 2001; Ross *et al.*, 2009; Miralles *et al.*, 2011).

En el conjunto de datos los granos de mayor peso y calibre tuvieron el menor contenido de proteína, lo que es esperable (Fig. 2.2 a). Se puede explicar el 80% de la variación total con los dos primeros componentes. El CP1, por sí mismo, concentró un 51,6% de la varianza total de las 4 variables. En este componente las variables CALIBRE y PMIL tuvieron los pesos positivos más altos y la variable PROT el peso negativo mayor. Por lo tanto CP1 asociado positivamente con CALIBRE y PMIL y negativamente con PROT (todos a $p < 0,001$) discrimina granos de mayor tamaño de los granos de excesiva proteína. REND tuvo mucho mayor coeficiente de correlación con CP2. La ortogonalidad de los componentes principales garantiza que el CP2 representa la variabilidad de los datos no explicada por el CP1. Los dos componentes pueden interpretarse como un contraste entre el REND y variables de calidad del cultivo.

Cuando se analizó nuevamente, clasificando por tratamientos se obtuvo un biplot de características similares (Fig. 2.2 b). Los autovectores reportados en la Tabla 2.5 b) muestran los coeficientes con que cada variable original fue ponderada para conformar los CP1 y CP2. Al construir el CP1, la variable PROT recibió el peso positivo más alto y las variables PMIL y CALIBRE los pesos negativos más altos. Se puede interpretar que el CP1 separa tratamientos que producen granos con alta PROT (90e y 120e), de los de mayor CALIBRE y PMIL (testigo, 30e y 30m). Para el CP2, la variable REND recibió el peso positivo más alto, discriminando los tratamientos con dosis intermedia de 60 kg N ha⁻¹ aplicada en emergencia o dividida del resto. Esta agrupación de tratamientos en base a parámetros de rendimiento y

calidad, se asemeja a la realizada por Grahmann *et al.* (2014), para trigo candeal. Además, el ángulo entre los vectores es una aproximación de la correlación entre las variables. En el biplot de la Fig. 2.2 b) se evidencia claramente la alta correlación positiva entre PMIL y CALIBRE y negativa de estas dos con PROT. Estas tres variables no están correlacionadas con REND, a juzgar por el ángulo cercano a 90° entre los vectores. En análisis subsiguientes, se podría dar prioridad a solo dos variables: REND y PROT, dada la estrecha relación de esta última con PMIL y CALIBRE.

Tabla 2.5 Análisis de componentes principales: autovalores y autovectores. (Casos leídos 819)

a) Conjunto de los casos			b) Clasificados por tratamientos		
Autovalores			Autovalores		
Lambda	Valor	Proporción	Lambda	Valor	Proporción
1	2,07	0,52	1	3.32	0,83
2	1,10	0,28	2	0.65	0.16
3	0,62	0,16	3	0.03	0.01
4	0,21	0,05	4	0.01	0.0019
Autovectores			Autovectores		
Variables	e1	e2	Variables	e1	e2
REND	0,14	0,86	REND	0,36	0,93
CALIBRE	0,60	-0,33	CALIBRE	-0,53	0,26
PROT	-0,47	-0,36	PROT	0,54	-0,20
PMIL	0,63	-0,14	PMIL	-0,54	0,17

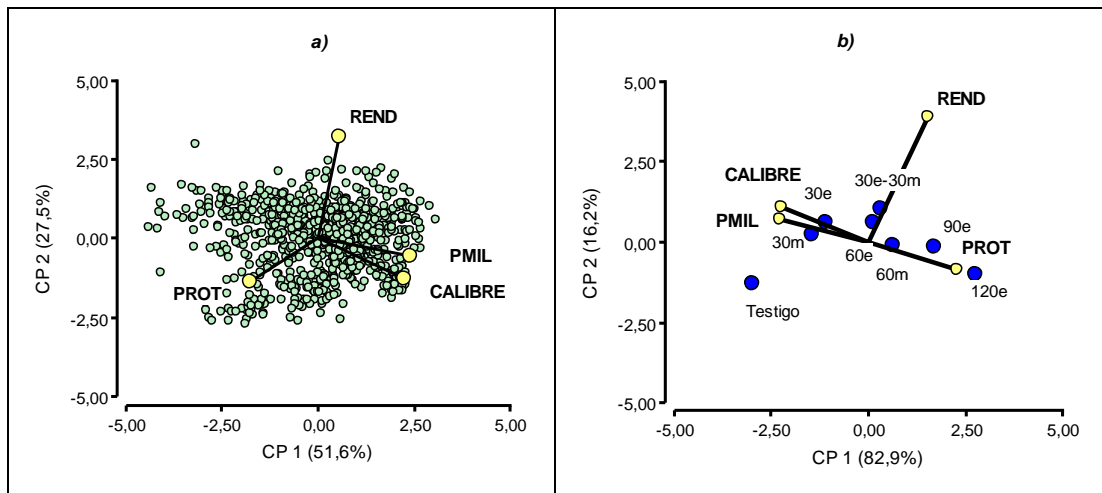


Fig. 2.2. Biplot a) conjunto de todos los datos b) utilizando los tratamientos de fertilización como criterio de clasificación.

2.4 CONCLUSIONES

Estos resultados ratifican la influencia de condiciones ambientales (años y sitios) y del manejo (fertilización nitrogenada) sobre el rendimiento y la calidad industrial del grano.

La mayor variabilidad de los datos se asignó al primer componente principal, fuertemente asociado con la calidad del grano.

El efecto más notorio de la aplicación de N en detrimento de la calidad, se expresó en dosis altas y/o aplicadas en macollaje.

El análisis de componentes principales con clasificación por tratamientos dio una orientación en cuanto a la eventual priorización de las variables REND y PROT en el seguimiento de la investigación.

2.5 BIBLIOGRAFIA

- Aguinaga, A. 2004. “Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera” Tesis de Magíster. UNS.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In: A.L Page, D.R. Miller (Eds.), Methods of Soil Analysis II. Chemical and Micro-biological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595–624.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dunteman, GH. 1989. Principal Components Analysis, Serie: Quantitative Applications in the Social Sciences N^o 69. Sage Univerity paper, Newbury Park. 97p.
- Echagüe, M. 2004. Absorción de ¹⁵N urea aplicada a suelos cultivados con cebada cervecera. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, UNS.
- Echagüe, M; MR Landriscini; S Venanzi & MA Lázari. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. INPOFOS, Informaciones Agronómicas del Cono Sur, Número 10: 5-8.
- Grahmann, K; N Verhulst; R Peña; A Buerkert; L Vargas Rojas & B Govaerts. 2014. Durum wheat (*Triticum durum L.*) quality and yield as affected by tillage-straw management and nitrogen fertilization practice under furrow-irrigated conditions. *Fields Crops Research*.164: 166-177.

- Lazzari, MA; MR Landriscini & M Echagüe. 2007. Nitrogen uptake by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 371-388.
- Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2005. Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. *Ciencia del Suelo* 23: 69-77.
- Loewy, T & MM Ron. 2001 Componentes del rendimiento en trigo y cebada cervecera bajo distintos niveles nutricionales. V Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Invernal. Carlos Paz, 25 al 28 de setiembre.
- López, O. 2006. Cuantificación y caracterización fisicoquímica de almidón de cebada cervecera; influencia de las condiciones de cultivo. Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNS.
- Mead, R; RN Curnow & AM Hasted 2002. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*, Third Edition.
- Miralles, DJ; S Arisnabarreta & I Alzueta. 2011. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. *En: Cebada cervecera*. Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG (eds.). Editorial Facultad de Agronomía.
- Ross, F; J Massigoge & M Zamora. 2009. Efecto ambiental y respuesta a la fertilización nitrogenada en cebada cervecera, cv Scarlett. IPNI, *Informaciones Agronómicas* 42: 5-10.
- Soil Survey Staff, 2010. *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Soil Survey Staff. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Undécima Edición.

CAPITULO 3

LIMPIEZA DE DATOS EN ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN DE CEBADA CERVECERA

3.1 INTRODUCCIÓN

La jerarquía del conocimiento, también conocida como pirámide, puede resumirse con las siglas DICS (datos, información, conocimiento, sabiduría), donde el primer componente (datos) es un elemento clave. Sin embargo esta base no tiene uso práctico hasta que se convierte en información relevante (Rowley, 2007). La transformación es esencial para el desarrollo de los modelos de toma de decisiones en muchas disciplinas, a pesar de los debates filosóficos sobre la naturaleza del conocimiento (Frické, 2007).

Antes de intentar avanzar en la pirámide jerárquica es fundamental garantizar la calidad de los datos, lo cual implica que deben estar libres de defectos, accesibles, precisos, oportunos, completos y consistentes con otras fuentes (Redman, 2004). Actualmente, en la producción de bienes y servicios se aplican sistemas de aseguramiento de la calidad que apuntan a reducir, eliminar y prevenir deficiencias. Estos procesos implican dos etapas: control de la calidad (QC) y evaluación de la calidad (QA). QC incluye acciones específicas para lograr resultados confiables mientras QA evalúa la eficacia del control de la calidad, documentando la exactitud y la precisión de los resultados. Esto es posible en un laboratorio mediante el uso de muestras de control (Hoskins & Wolf, 1998).

En otras disciplinas este enfoque no es posible y son necesarios procedimientos específicos para el control de calidad de los datos. Por ejemplo, el proceso desarrollado por la EPA (2000) comienza con la revisión de los objetivos de calidad para los datos y diseño para el muestreo, seguido por una revisión preliminar de los datos. Los pasos son análogos a los métodos de pre-procesamiento y pre-tratamiento definidos por Goodacre *et al.* (2007) para el análisis de datos en metabolómica. Estos autores hacen hincapié en la importancia de hacer suposiciones claras acerca de la estructura de los datos.

En la investigación sobre fertilización de los cultivos, el objetivo de los ensayos a campo es evaluar estrategias y desarrollar recomendaciones rentables y ambientalmente amigables. Es esencial comprobar si hay anomalías o inconsistencias en los ensayos individuales antes de la construcción de bases de datos para obtener la información, que luego será derivada a los productores para la toma de decisiones. Cuando los ensayos son parte de una red, se suele planificar cuidadosamente el diseño experimental y definir de antemano los procedimientos estadísticos para el análisis de los datos. El análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas para comparaciones de media asumen una distribución normal de los datos y homocedasticidad, mientras que el diseño de bloques completos al azar- usualmente empleado en experimentos a campo - se basa en la suposición de que no hay interacciones significativas entre bloques y tratamiento (es decir, que los efectos de los bloques y de los tratamientos son aditivos).

Es difícil probar los supuestos mencionados anteriormente, debido a la insuficiente cantidad de observaciones para cada tratamiento. Cuando los tratamientos son dosis de un nutriente las variables dependientes, frecuentemente pertenecen a distribuciones normales superpuestas, con la misma desviación estándar. Esto reduce el poder de las pruebas para la separación de medias (Seltman, 2011), pero permite la generación de una distribución global uniforme (Brak, 2009). Por lo tanto, la agrupación de todos los datos podría ser un posible enfoque para comprobar la normalidad y datos erráticos, utilizando la estadística gráfica.

Debido a la influencia del suministro de nutrientes sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo y la calidad del producto (Ron & Loewy, 2000; Wang *et al.*, 2002) frecuentemente se registran diversas variables para cada unidad experimental. Las relaciones entre estas variables dependientes, en el rango de disponibilidad de nutrientes proporcionado por los tratamientos de fertilización, permiten evaluar la compatibilidad. Este es un indicador importante de la calidad de los datos normalmente abordado, con otros enfoques, en la producción de estadísticas de alta calidad (Eurostat, 2007). Las relaciones entre rendimiento, componentes del rendimiento y la calidad del grano se han informado para cereales en varios trabajos (Bavec *et al.*, 2002). En Argentina, la mayoría de los estudios se han realizado sobre trigo (Bergh *et al.*, 2000; Loewy *et al.*, 2004; Barbieri *et al.*, 2009; Barbieri *et al.*, 2012).

Varios investigadores han asumido y/o reportado relaciones análogas para cebada cervecera (de Ruiter & Brooking, 1996; Cantero Martínez *et al.*, 2003; Prystupa *et al.*, 2004).

Un enfoque más objetivo para la evaluación de calidad de los datos sería que cumplieran con la hipótesis de aditividad del efecto de los bloques. El análisis de los gráficos de dispersión para comprobar esta hipótesis se puede complementar con regresiones. En los diseños en bloques completos al azar con dosis crecientes de fertilizante, la tendencia lineal entre las variables dependientes y las dosis resume la respuesta del cultivo. Incluso si el efecto de bloque es significativo, la pendiente de las ecuaciones lineales de bloques individuales no debe ser estadísticamente diferente.

Nuestra hipótesis es que, para los resultados de los ensayos de fertilización, la evaluación de calidad de los datos se puede lograr recurriendo a: 1) estadísticas gráficas para detectar observaciones anómalas en un análisis preliminar de los datos, 2) relaciones entre las variables dependientes y 3) comparación de pendientes de ecuaciones lineales de la respuesta de los cultivos a la fertilización para bloques individuales.

El objetivo perseguido en esta parte de la tesis fue informar sobre la aplicación de un procedimiento de evaluación de calidad de datos para su posterior limpieza en 28 ensayos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera.

3.2 MATERIALES Y METODOS

Se utilizó la base de datos de un proyecto de investigación del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, que consistió en una red de 28 ensayos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera. Las características de los ensayos y las variables determinadas se detallan en el Capítulo 2.

A partir de las variables medidas REND, PMIL y PROT se estimaron, por cálculo, los granos m^{-2} (GRANOS) y rendimiento de nitrógeno (RN), utilizando - para esta última variable - un factor proteína: $N = 6,25$.

En cada ensayo, se realizó un análisis de calidad de los datos que consistió en tres pasos

1° Detección de datos anómalos y casos erráticos por la técnica de análisis gráfico univariado.

-qqplots: para evaluar el grado de ajuste de las observaciones agrupadas por variable a una distribución normal (ver ANEXO III).

-Gráficos de caja: para visualizar la distribución de las observaciones y las medidas de centralización y descubrir los valores no incluidos en el rango de los casos típicos. Este rango toma como extremos los valores resultantes de restar al primer cuartil y sumar al tercer cuartil 1,5 veces la distancia intercuartil.

-Gráficos de dispersión, donde Y es la variable dependiente y X el número de tratamiento, con series diferenciadas de acuerdo a los bloques, para detectar datos que sugieran interacción entre los tratamientos y los bloques.

2° Se estudió la coherencia interna entre las variables medidas en un mismo experimento, mediante el ajuste de ecuaciones lineales sobre la base de las relaciones entre la calidad, el rendimiento y sus componentes. Las desviaciones significativas de las rectas obtenidas podrían alertar sobre casos anómalos en una o ambas variables dependientes, como se describe en la [Tabla 3.1](#). Los casos con residuos estandarizados mayores que 2, en valor absoluto, fueron examinados y comparados con los gráficos del paso anterior.

Tabla 3.1. Control de coherencia interna de los datos mediante regresiones entre algunas variables

Regresión	Variable dependiente	Variable predictiva	Detecta incongruencias entre
1	RN: Rendimiento de N (estimado)	REND:Rendimiento de grano	REND y proteína (PROT)
2	REND	GRANOS: número de granos m ⁻² (estimado)	REND y peso de mil granos (PMIL)
3	CALIBRE	PMIL	CALIBRE y PMIL

3° para evaluar el efecto de aditividad de los bloques se ajustaron las siguientes regresiones:

$$y = a + b Nf \text{ (Ec. 3.1)}$$

$$y = a + b Nf + c BII + d BIII + e BIV \text{ (Ec. 3.2)}$$

$$y = a + b N_f + c B_{II} + d B_{III} + e B_{IV} + f B_{II} N_f + g B_{III} N_f + h B_{IV} N_f \text{ (Ec. 3.3)}$$

donde "y" es la variable dependiente del cultivo (PMIL, PROT, REND o CALIBRE); N_f es la dosis total de N (simple o fraccionada) aplicada en cualquier época, B_{II} , B_{III} y B_{IV} son variables categóricas para los bloques, II, III y IV, respectivamente (0: no corresponde y 1: corresponde); $B_{II} N_f$; $B_{III} N_f$; $B_{IV} N_f$ son variables categóricas para los términos de interacción entre los bloques y las dosis de N_f ; a, b, c, d, e, f, g y h son coeficientes

Las regresiones ajustadas según la Ec. 3.2 utilizan como referencia la ecuación lineal correspondiente para el bloque I, cuando se asigna 0 a todas las variables categóricas. Las variables dependientes para los otros bloques se estiman mediante la adición de los coeficientes "c" ($B_{II} = 1, B_{III} = 0; B_{IV} = 0$), "d" ($B_{II} = 0, B_{III} = 1; B_{IV} = 0$) y "e" ($B_{II} = 0, B_{III} = 0; B_{IV} = 1$), que representan las diferencias entre los bloques II, III y IV con el de referencia (bloque I), en ese orden. Esta ecuación supone que la respuesta al N representada por el coeficiente "b" es la misma en todos los bloques. Si los coeficientes "c", "d" y "e" no son significativos se puede asumir que no hay ningún efecto de bloque y se debe aplicar la Ec.3.1.

La Ec. 3.3 es usada para detectar interacciones bloque - N_f . A partir de los coeficientes de esas regresiones es posible derivar 4 ecuaciones para cada uno de los bloques. Estas son similares a las que se obtendrían haciendo las cuatro regresiones por separado. Sin embargo, los errores estándar de las estimaciones de la Ec. 3.3 son notablemente menores, ya que se trabaja con más grados de libertad para la estimación del error experimental. Si los coeficientes "f", "g" y "h" no son significativos se puede suponer que la pendiente (coeficiente "b") es homogénea para los cuatro bloques y que se puede aplicar la Ec. 3.2 (Balzarini *et al.*, 2008).

Cuando los coeficientes de "f", "g" y "h" fueron significativos para cualquier variable dependiente de los ensayos, se utilizaron gráficos de dispersión generados en el primer paso para detectar casos responsables de la interacción bloque - N_f . Se aplicó un procedimiento

iterativo de exclusión hasta conseguir homogeneidad de pendiente, con la eliminación de la menor cantidad de datos.

Para probar estadísticamente si el modelo de la Ec. 3.3 soslaya efectos importantes de la época de aplicación se comparó su cuadrado medio residual con el de la siguiente ecuación:

$$y = a + b N_e + c N_m + d BII + e BIII + f BIV + g BII N_e + h BII N_m + i BIII N_e + j BIII N_m + k BIV N_e + l BIV N_m \text{ (Ec. 3.4)}$$

En este caso “y” es la variable dependiente (REND, PMG, PROT o CALIBRE); N_e y N_m son las dosis de N aplicadas a la emergencia o macollaje, en ese orden; BII, BIII y BIV como en la Ec. 3.2; $BII N_e$, $BIII N_e$, $BIV N_e$, $BII N_m$, $BIII N_m$, $BIV N_m$ son variables para los términos de interacción entre los bloques y las dosis de N_e o N_m , a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k y l son coeficientes.

Luego de la detección de datos inconsistentes se eliminaron aquellos detectados por:

a) los diagramas de caja y los qqplots, siempre que no pertenezcan más de uno al mismo tratamiento (Fig. 3.1).

b) casos con residuales altos en las regresiones entre variables del cultivo, previamente detectados en uno de los gráficos de la etapa anterior (Fig. 3.2).

c) datos responsables de la interacción bloques - N_f (Fig. 3.3).

d) cuando se consideró que el mismo caso era anómalo para más de tres variables en el mismo ensayo, se eliminó para la cuarta variable, como si se tratara de una parcela perdida.

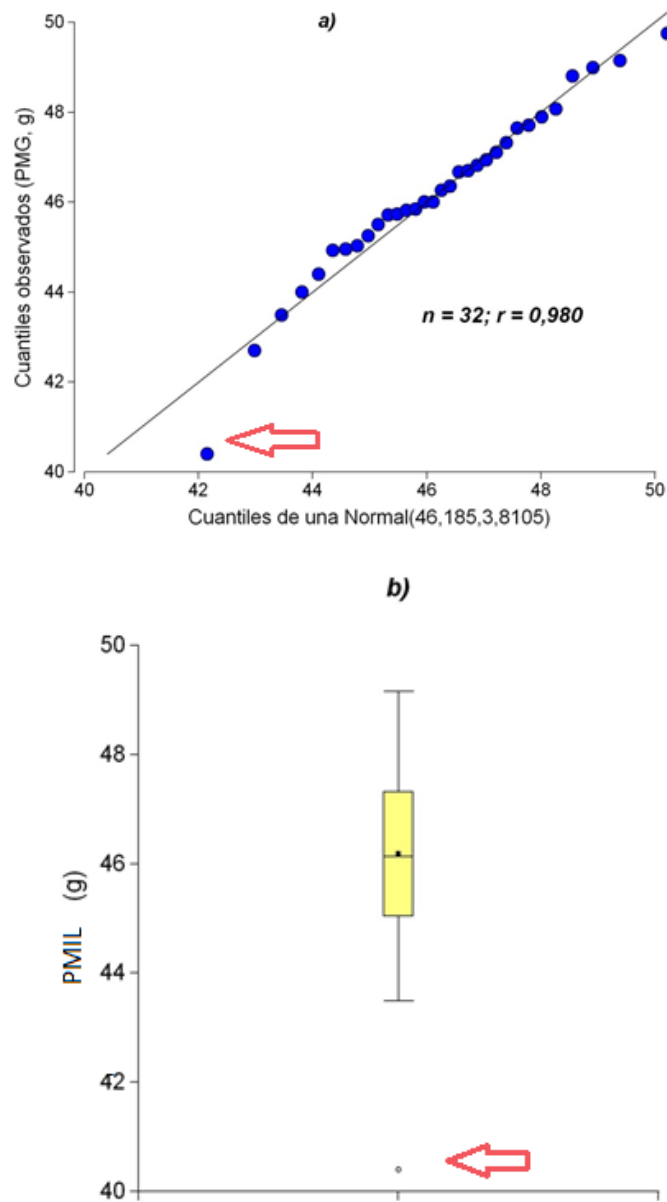


Fig. 3.1. Dato eliminado de Peso de mil granos (PMIL) por a) qqplot y b) boxplot (Bordenave, 2000).

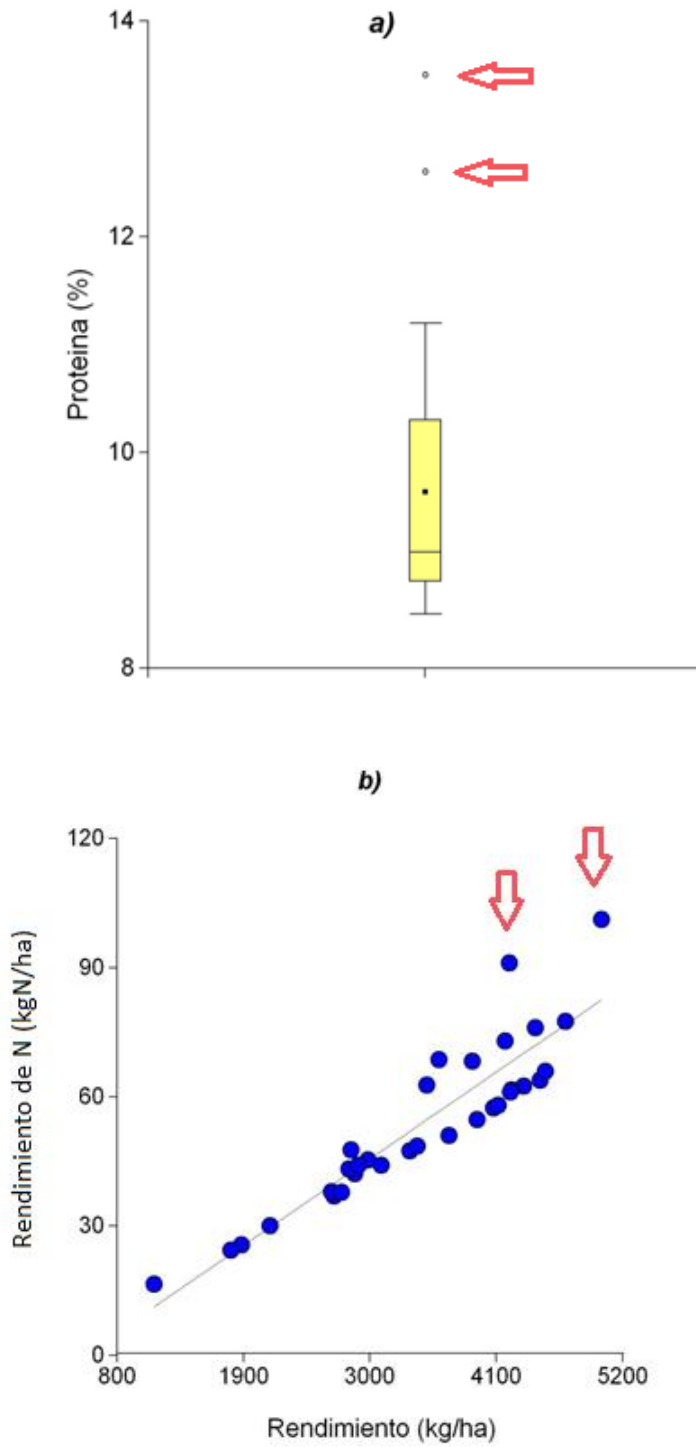


Fig. 3.2. Datos eliminados de proteína por a) gráfico de cajas and b) relación entre variables (Bordenave, 2000).

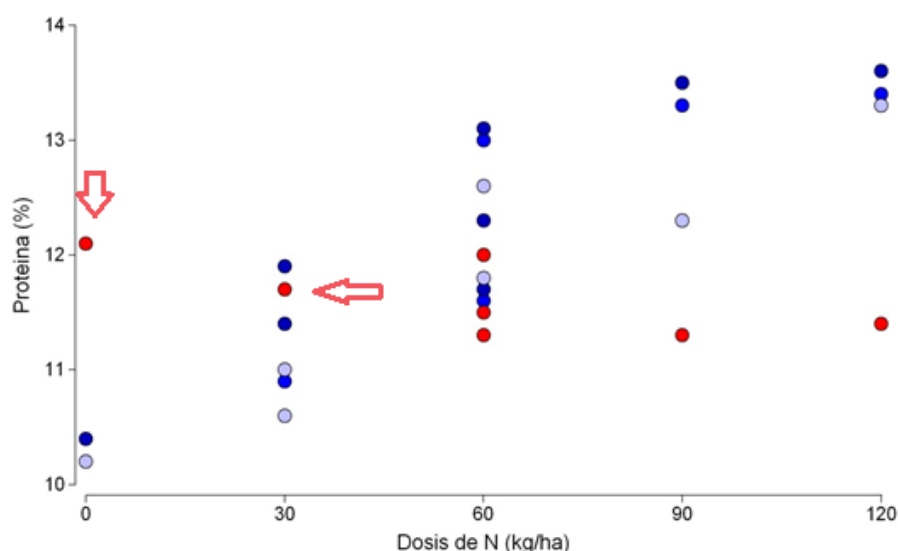


Fig. 3.3. Datos eliminados por interacción bloques-N (CMQ01). Bloques I, II, III y IV, círculos celeste, azul, azul oscuro, y rojo, respectivamente.

Los procedimientos cumplen con las características descritas por Pipino *et al.* (2002), de comparación de resultados, identificación de las diferencias, determinación de las causas de las diferencias, y acciones necesarias para mejorar.

Después de la limpieza de datos se repitieron gráficos preliminares y las regresiones. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008).

3.3 RESULTADOS

En la mayoría de los qqplots no se halló evidencia de que la distribución del conjunto de los datos no fuera normal. Los coeficientes de correlación entre los valores predichos y los observados fueron superiores a 0,96 en el 88% de los gráficos. En aproximadamente el 40% de los gráficos casi todos los puntos se ubicaron sobre la línea de predicciones perfectas, excepto unos pocos datos erráticos. Una cuarta parte, en su mayoría correspondientes al CALIBRE, mostró un patrón en escalera, indicando redondeo en los datos. En un 25% se observaron leves asimetrías. Una proporción minoritaria evidenció distribuciones más alejadas de la normal.

Las regresiones de RN en función de REND fueron todas altamente significativas, con un coeficiente de determinación por encima de 0,80, en el 71% de los casos. La pendiente de las

ecuaciones, que resume la concentración de N en el grano (expresada en kg N kg⁻¹ grano), osciló entre 0,010 y 0,028, con una media de 0,020 (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Ecuaciones de regresión de rendimiento de nitrógeno en función del rendimiento de grano para cada ensayo

	ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	SIG	R ²
ALB99	13,2	0,019	<0,0001	0,67
AZUL99	4,7	0,018	<0,0001	0,66
BORD99	-3,6	0,028	<0,0001	0,90
PIG99	5,2	0,020	<0,0001	0,81
SMAY99	7,2	0,021	<0,0001	0,91
CSUA99	-26,2	0,026	0,0001	0,43
TS AS99	-10,9	0,028	<0,0001	0,60
URU99	-3,7	0,025	<0,0001	0,93
ALB00	-20,8	0,025	<0,0001	0,80
BORD00	-9,2	0,018	<0,0001	0,83
CASC00	-13,6	0,022	<0,0001	0,64
PIG00	-12,8	0,024	<0,0001	0,90
PUAN00	36,6	0,010	<0,0001	0,46
TS AS00	39,8	0,010	0,0013	0,30
BORD01	-3,2	0,019	<0,0001	0,97
CMQTE01	9,2	0,018	<0,0001	0,61
CMQTA01	0,1	0,020	<0,0001	0,74
CONS01	2,6	0,020	<0,0001	0,81
DULTE01	-9,6	0,024	<0,0001	0,90
DULTA01	7,4	0,020	<0,0001	0,96
SMIG01	-17,2	0,024	<0,0001	0,92
ALB02	4,7	0,020	<0,0001	0,95
BORD02	1,4	0,020	<0,0001	0,94
CAB02	21,5	0,010	<0,0001	0,98
CMQ02	-12,4	0,020	<0,0001	0,93
CONS02	-2,3	0,020	<0,0001	0,81
DUL02	-5,4	0,020	<0,0001	0,94
PUAN02	-5,1	0,020	<0,0001	0,96

Nota: 99, 00, 01y 02 años de ensayo, abreviaturas de sitios ver Tabla 2.1

Las ecuaciones ajustadas de REND en función de GRANOS también fueron altamente significativas siendo los coeficientes de determinación superiores a 0,8 excepto en 5 ecuaciones (Tabla 3.3). La pendiente (equivalente a un peso de 10 granos expresado en g) varió entre 0,174 y 0,480 con promedio de 0,368.

Tabla 3.3 Ecuaciones de regresión del rendimiento de grano en función del número de granos m⁻² para cada ensayo.

	ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	SIG	R²
ALB99	-343	0,448	<0,0001	0,97
AZUL99	251	0,409	<0,0001	0,97
BORD99	65	0,347	<0,0001	0,94
PIG99	70	0,401	<0,0001	0,96
SMAY99	-68	0,415	<0,0001	0,97
CSUA99	824	0,385	<0,0001	0,90
TS AS99	498	0,307	<0,0001	0,82
URU99	68	0,417	<0,0001	1,00
ALB00	2194	0,174	<0,0001	0,65
BORD00	136	0,443	<0,0001	0,97
CASC00	1943	0,206	<0,0001	0,47
PIG00	165	0,438	<0,0001	0,98
PUAN00	615	0,349	<0,0001	0,46
TS AS00	1022	0,300	<0,0001	0,47
BORD01	-18	0,480	<0,0001	0,99
CMQTE01	191	0,319	<0,0001	0,80
CMQTA01	757	0,311	<0,0001	0,80
CONS01	1788	0,177	<0,0001	0,60
DULTE01	699	0,310	<0,0001	0,87
DULTA01	118	0,384	<0,0001	0,82
SMIG01	98	0,382	<0,0001	0,85
ALB02	115	0,330	<0,0001	0,91
BORD02	sd	sd	sd	sd
CAB02	101	0,420	<0,0001	0,99
CMQ02	-52	0,450	<0,0001	0,95
CONS02	274	0,410	<0,0001	0,96
DUL02	467	0,420	<0,0001	0,94
PUAN02	265	0,400	<0,0001	0,97

Nota: 99, 00, 01y 02 años de ensayo, abreviaturas de sitios ver **Tabla 2.1**

Las regresiones entre CALIBRE y PMIL están justificadas en la estrecha asociación entre las dos variables, encontrada en el capítulo anterior. Sin embargo, 25% de las ecuaciones no fueron significativas (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Ecuaciones de regresión del calibre (%) en función del peso de mil granos (g).

	ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	SIG	R ²
ALB99	6,2	1,857	0,0053	0,23
AZUL99	19,9	2,420	0,0006	0,31
BORD99	52,7	0,712	0,0448	0,13
PIG99	79,6	0,214	0,6162	0,01
CSUA99	93,1	0,056	0,7493	0,004
SMAY99	0,6	2,100	0,0002	0,38
TS AS99	-107,6	4,703	<0,0001	0,77
URU99	30,7	1,254	0,0483	0,17
ALB00	49,7	0,792	0,0254	0,16
BORD00	5,3	1,836	0,0001	0,39
CASC00	35,7	1,089	0,0005	0,34
PIG00	51,2	0,915	0,0002	0,38
PUAN00	-83,7	3,753	<0,0001	0,85
TS AS00	-14,9	2,237	<0,0001	0,67
BORD01	94,1	0,035	0,8767	0,001
CMQTE01	-24,7	2,193	0,0111	0,20
CMQTA01	5,4	1,766	0,0001	0,41
CONS01	27,9	1,071	0,0161	0,18
DULTE01	-100,4	4,535	<0,0001	0,75
DULTA01	36,5	1,069	0,0044	0,24
SMIG01	8,5	1,811	0,0002	0,37
ALB02	7,6	1,750	0,0780	0,13
BORD02	SD	SD	SD	SD
CAB02	75,2	0,370	0,3917	0,03
CMQ02	113,5	-0,760	0,4176	0,03
CONS02	1,8	1,790	0,0289	0,20
DUL02	45,0	1,010	0,0013	0,38
PUAN02	-5,2	2,150	0,0450	0,17

Nota: 99, 00, 01y 02 años de ensayo, abreviaturas de sitios ver **Tabla 2.1**

La **Tabla 3.5** muestra un resumen de las regresiones realizadas para detectar posibles interacciones bloque- N_f. Se muestra la probabilidad de los coeficientes correspondientes a las variables regresoras de la **Ec. 3.3** y se resaltan aquellos con $p < 0,05$. Se encontraron interacciones significativas en 7 ensayos para PROT, 3 para REND, 1 para PMIL y 4 para CALIBRE. Mediante este análisis se detectaron datos erráticos de los cuales sólo un 20 % habían sido individualizados previamente.

Tabla 3.5 Probabilidad de los coeficientes f, g y h de la Ec. 3.3 según ensayos y variables

Ensayo	Variables											
	Proteína			Rendimiento			Peso de mil			Calibre		
	f	g	h	f	g	h	f	g	h	f	g	h
ALB99	0,7229	0,8315	0,2845	0,9188	0,3104	0,0268	0,4914	0,8475	0,0025	0,3709	0,7497	0,4896
AZUL99	0,0834	0,3853	0,2548	0,1863	0,2550	0,1207	0,6689	0,3089	0,3374	0,8075	0,7332	0,4745
BOR99	0,8082	0,0541	0,0369	0,9585	0,7872	0,8135	0,3120	0,6538	0,4195	0,8263	0,8377	0,4757
PIG99	0,7013	0,6042	0,4526	0,1975	0,4497	0,2842	0,5411	0,2514	0,562	0,8514	0,7411	0,3993
SMAY99	0,3326	0,9577	0,2636	0,5295	0,3791	0,0212	0,7733	0,1903	0,3471	0,6176	0,0288	0,0099
CSUA99	0,4847	0,6768	0,3678	0,8755	0,0517	0,999	0,6780	0,6725	0,4812	0,1168	0,4367	0,1641
TSAS99	0,5233	0,5112	0,0835	0,9465	0,4014	0,5195	0,7611	0,4452	0,2176	0,3329	0,1032	0,487
ALB00	0,122	0,3013	0,6650	0,4412	0,5644	0,0837	0,6740	0,3020	0,332	0,129	0,3111	0,294
BORD00	0,7084	0,2124	0,2693	0,2762	0,2396	0,3421	0,3321	0,7932	0,5379	0,6389	0,0632	0,0701
CASC00	0,6079	0,9966	0,4142	0,2909	0,1084	0,1582	0,2613	0,7682	0,0714	0,9607	0,4904	0,6002
PIG00	0,9122	0,1286	0,9166	0,0042	0,0531	0,0707	0,7559	0,4881	0,1034	0,3081	0,3956	0,0486
PUAN00	0,7422	0,9540	0,9969	0,7024	0,3359	0,4937	0,9338	0,4778	0,7707	0,2739	0,2155	0,8618
TSAS00	0,7025	<0,0001	0,6207	0,8211	0,3833	0,9276	0,8637	0,4042	0,9701	0,5815	0,9241	0,9564
BORD01	0,7000	0,5400		0,9594	0,2867	0,5900	0,7970			0,5020	0,6420	
CMQTE01	0,1348	0,0600	0,3938	0,3548	0,7887	0,4543	0,1277	0,0552	0,1138	0,8220	0,4949	0,5975
CMQTA01	0,4523	0,2071	0,0075	0,067	0,1935	0,2543	0,9087	0,9490	0,8606	0,2954	0,9647	0,8946
CONS01	0,0467	0,7250	0,8965	0,3471	0,6605	0,5029	0,6707	0,9449	0,9849	0,3577	0,0071	0,7017
DULCTE01	0,0167	0,0031	0,0137	0,0776	0,5668	0,8859	0,2665	0,8774	0,598	0,8036	0,1291	0,7559
DULCTA01	0,0064	0,9430	0,0536	0,7992	0,4868	0,7143	0,0565	0,6145	0,3164	0,2528	0,2691	0,9257
SMIG01	0,4733	0,3899	0,3990	0,4734	0,4689	0,1522	0,7970	0,4240	0,0683	0,9455	0,8472	0,3091
ALB02	0,1475	0,3122	0,1621	0,8501	0,3877	0,3396	0,4415	0,0558	0,3499	0,8184	0,8598	0,5048
BORD02	0,3688	0,2983		0,7998	0,6113		sd	Sd		sd	sd	
CAB02	0,9204	0,0991	0,4877	0,6383	0,1434	0,5715	0,3833	0,9352	0,8328	0,3754	0,8130	0,6232
CMQ02	0,9632	0,2774	0,3179	0,4537	0,1826	0,0551	0,3821	0,7662	0,5946	0,2659	0,4092	0,0875
CONS02	0,7623	0,6728	0,1946	0,1114	0,9185	0,4400	0,3261	0,7351	0,2561	0,0515	0,0394	0,0091
DULC02	0,2899	0,7309	0,0167	0,7505	0,8708	0,8817	0,3887	0,5372	0,8118	0,9349	0,6901	0,7901
PUAN02	0,8148	0,7256	0,1510	0,8963	0,6548	0,8408	0,7438	0,7034	0,3959	0,7717	0,7911	0,6813

Nota: 99, 00, 01 y 02 años de ensayo, abreviaturas de sitios ver Tabla 2.1

La comparación de los cuadrados medios residuales de las Ec. 3.3 y 3.4 no revelaron diferencias que sugirieran que un efecto de época incidiera en la relación entre las variables y las dosis de Nf.

La Tabla 3.6 muestra el número de datos eliminados (2,7 % del total) clasificados por año y el motivo del rechazo. Aproximadamente 1% del total fueron descartados debido a los diagramas de caja y qqplots, un 0,8% teniendo en cuenta las regresiones entre las variables y los gráficos preliminares y el resto (0,9%) fueron eliminados sólo por la interacción bloques - Nf. Debido a la naturaleza de los diagramas de caja 57 de los 87 datos rechazados fueron

los valores mínimo o máximo. En buena proporción estos correspondieron a las parcelas testigo y fertilizadas con la dosis de N máxima (120 kg N_f ha⁻¹).

Tabla 3.6 Número de datos evaluados y eliminados según criterio y características

		Año (n° ensayo – n° de datos)			
		1999	2000	2001	2002
		(8-992) ^(a)	(6-764) ^(a)	(7-844) ^(a)	(7-624) ^(a)
Descartado por	total				
(a) boxplot + qqplot	30	14	2	11	3
(b) sólo por regresión + boxplot o qqplot	27	10	4	5	8
(c) solo por interacción Bloque N	30	9	3	13	5
Total	87	33	9	29	16
% casos eliminados	2,7	1	0,3	0,9	0,5
Características de los casos eliminados					
Mínimos	38	15	4	14	5
Máximos	19	16	1	1	1
Testigo	25	11	2	8	4
Dosis 120 Kg N ha ⁻¹	15	7	3	5	----
Variable con más datos eliminados	PROT	PROT	REND	PROT	CALIBRE

3.4 DISCUSIÓN

La agrupación de datos de los diferentes tratamientos en los qqplots y diagramas de caja pueden detectar falsos valores atípicos. La [Fig. 3.4](#) muestra un ejemplo de una distribución normal de un conjunto de datos y curvas normales asumiendo homocedasticidad para tres tratamientos del ensayo de Puán, 2002. Se puede observar que las medias de distribuciones normales superpuestas que corresponden a tratamientos de dosis crecientes de N no siempre se encuentran espaciadas regularmente. Por este motivo, las distribuciones colectivas resultantes pueden ser ligeramente asimétricas.

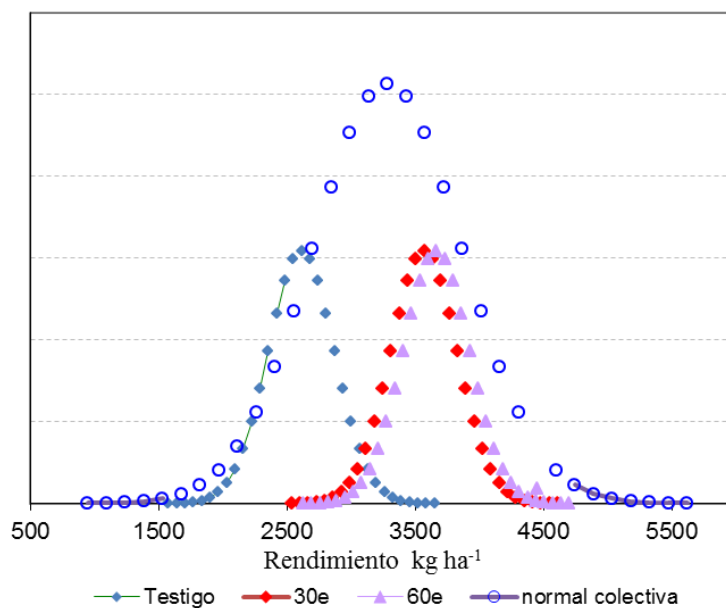


Fig. 3.4. Curvas normales superpuestas del rendimiento para 3 tratamientos en Púan 2002 y distribución para el conjunto de datos.

Esto se aprecia en el histograma de datos reales de Tres arroyos 99, contenido en una curva colectiva de distribución normal (Fig. 3.5). De hecho, se ha encontrado que la distribución de rendimientos de los cultivos en algunas áreas no es normal, con un grado de asimetría que depende de la disponibilidad de nutrientes (Day, 1965). Debido a lo anterior, el primer paso en la valoración de la calidad de datos podría imponer una excesiva presión de descarte sobre los valores mínimo y máximo, frecuentemente asociados con las parcelas testigo y fertilizadas con la dosis más alta de N. La mayoría de los gráficos de caja podrían mostrar valores atípicos que pertenecen al mismo tratamiento, en particular los ya mencionados.

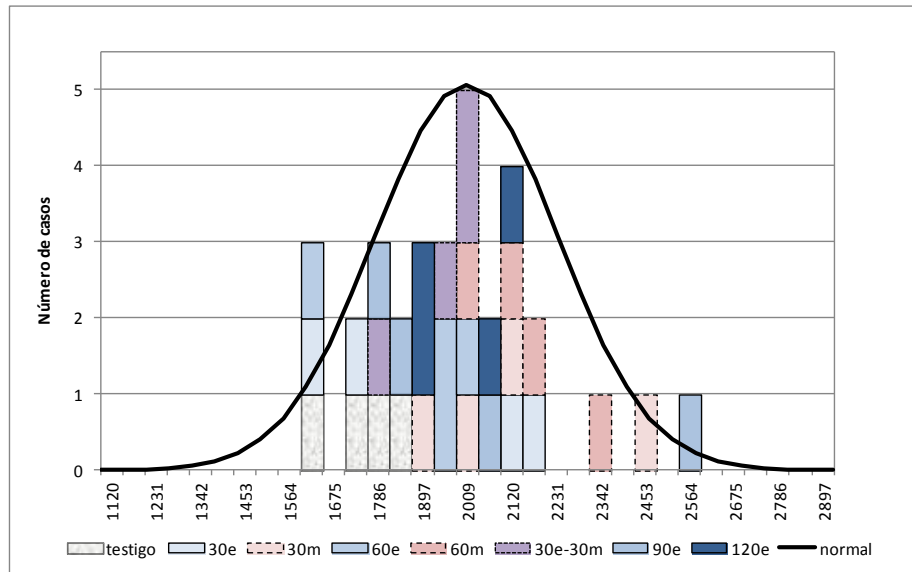


Fig. 3.5 Histograma y tratamientos para Tres arroyos 99, contenido en una curva normal colectiva.

Cobanovic *et al.* (2007) encontraron que la mayor desviación de la distribución normal en ensayos de fertilización fue para el nivel cero de nitrógeno. Frecuentemente, las parcelas testigo suelen presentar una mayor variabilidad que sus contrapartes fertilizadas, en cuyo caso se vería comprometida también la homocedasticidad. Por esta razón se ha sugerido que se debería usar una dosis baja en lugar de un tratamiento sin agregado de nutriente para derivar curvas de respuesta a la fertilización (Colwell, 1994). Por otra parte, la dosis de 120 kg N ha⁻¹, que se utiliza para alcanzar los valores máximos de las variables y definir el nivel de suficiencia de N, fue claramente excesiva en algunos años y variables.

La eliminación indebida de los datos se evitó a través de las restricciones impuestas en los primeros pasos del procedimiento. El análisis de los datos en conjunto tiene la ventaja de evitar que el investigador elimine información en el afán de rechazar la hipótesis nula para comprobar diferencias entre los tratamientos. Por lo contrario, si el procedimiento empleado causara un sesgo, este facilitaría su aceptación, lo que implicaría un error de tipo II.

La relación entre las variables permite un análisis del espectro de los datos "crudos" sin tener en cuenta las fuentes de variación incluidas en el ANOVA, que difiere del enfoque tradicional (Hochmuth *et al.*, 2011). Los tratamientos de fertilización sólo se incluyen en la tercera y última etapa de evaluación de la calidad de los datos.

Los casos eliminados pueden ser considerados como datos faltantes. Para realizar un ANOVA pueden ser reemplazados por sus estimaciones si sólo unos pocos se descartan, con la correspondiente reducción de los grados de libertad para el error experimental (Steel y Torrie, 1992). Las conclusiones aún se derivarían de un porcentaje significativo de los resultados registrados.

Los gráficos preliminares y las regresiones repetidos después de la limpieza de datos mostraron una mejor simetría (gráficos de cajas) y ajuste a la distribución normal (qqplot) en la mayoría de los casos. También al eliminar los valores erráticos, las regresiones tuvieron mayor coeficiente de determinación. De este modo, se pueden adecuar las observaciones a un protocolo de análisis (ANOVA, LSD, regresiones) preparado "a priori" para todos los ensayos. Sin la eliminación de los datos de baja calidad los resultados podrían sugerir "a posteriori" una distribución subyacente que no se ajuste a criterios paramétricos.

La variabilidad intra-sitio alcanzó su expresión máxima en los años climáticamente menos favorables como surge de comparar la información de la Tabla 2.3 (del capítulo anterior) con la Tabla 3.6. Esto se atribuye a que el efecto de la diversidad edáfica (en términos de fertilidad química y física) se potencia en condiciones de baja disponibilidad hídrica. Es procedente pensar que, a la inversa, se enmascara o disimula la heterogeneidad inherente de los suelos, vertical y horizontal. Este razonamiento, para condiciones de estrés climático también se aplica a condiciones de baja fertilidad, corroborado en la mayor variabilidad exhibida por los testigos en ciclos adversos, *vide supra*.

3.5 CONCLUSIONES

Este procedimiento sólo eliminó 2,7% de los datos recogidos en cada año de experimentación. La metodología empleada a) construye validez, ya que nos hace pensar si los datos responden realmente al experimento, b) evita el sesgo cognitivo por parte del investigador, c) contribuye a garantizar la normalidad, la simetría de la distribución de los datos y la aditividad de los efectos de bloques, d) facilita la implementación de herramientas paramétricas habituales (ANOVA, regresiones) en todos los ensayos de una red, e) incluye

los criterios de comparabilidad a través de la relación entre las variables de rendimiento y calidad de grano, f) podría aplicarse o adaptarse a otros cultivos.

3.6 BIBLIOGRAFIA

- Balzarini, MG; L González; M Tablada; F Casanoves; JA Di Rienzo & CW Robledo. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43: 1512-1522.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 27: 115-125.
- Bavec, M; F Bavec; B Varga & V Kovacevic. 2002. Relationships among yield, its quality and yield components in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars affected by seeding rates. *Die Bodenkultur*. 53(3): 143-151.
- Bergh, R; A Báez; A Quattrocchio & M Zamora. 2000. Fertilización nitrogenada para calidad en trigo candeal. *Informaciones Agronómicas* 7: 13-16.
- Brak, B. 2009. Modelling weed population dynamics: Impact of cultural control and climate change Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of Warwick. <http://go.warwick.ac.uk/wrap/2743>.
- Cantero-Martinez, C; P Angas & J Lampurlanes. 2003. Growth, yield and water productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by tillage and N fertilización in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *Field Crops Research* 84: 341-357.

- Čobanović, K; E Nikolić-đorić & B Mutavdžić. 2007. Use of Trellis Graphics in the Analysis of Results from Field Experiments in Agriculture. *Metodološki zvezki* 4(1): 71-82.
- Colwell, JD. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. CAB International. Oxon.
- de Ruiter, JM & IR Brooking. 1996. Effect of sowing date and nitrogen on dry matter and nitrogen partitioning in malting barley. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 65-76.
- Day, RH. (1965) Probability Distributions of Field Crop Yields. *Journal of Farm Economics*, 47(3): 713-741.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba.
- EPA. 2000. Guidance for data quality assessment. Office of Environmental Information. U.S. Environmental Protection Agency. 219 p.
- Eurostat. 2007. Handbook on Data Quality Assessment Methods and Tools. Wiesbaden. Disponible en: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/quality/documents/HANDBOOK%20ON%20DATA%20QUALITY%20ASSESSMENT%20METHODS%20AND%20TOOLS%20%20I.pdf>.
- Frické, M. 2007. The Knowledge Pyramid: A Critique of the DIKW Hierarchy. *Journal of Information Science* XX (X): 1–13.
- Goodacre, R; D Broadhurst; AK Smilde; BS Kristal; JD Baker; R Beger; C Bessant; S Connor; G Capuani; A Craig; T Ebbels; DB Kell; C Manetti; J Newton; G Paternostro; R Somorjai; M Sjöström; J Trygg & F Wulfert. 2007. Proposed minimum reporting standards for data analysis in metabolomics. *Metabolomics* 3: 231–241.
- Hochmuth, G; ED Hanlon & A Overman. 2011. Fertilizer Experimentation, Data Analyses, and Interpretation for Developing Fertilization Recommendations — Examples with

Vegetable Crop Research. SL 345 Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service.

- Hoskins, B & A Wolf. 1998. Laboratory quality assurance program, p. 65–69. In: Brown, J.R. (ed.). Recommended soil test procedures for the north central region. North Central Reg. Res. Pub. No. 221 (revised). Missouri Agr. Expt. Stat. SB 1001 (revised January 1998 and corrected Feb. 2011).
- Loewy, T; HE Echeverria & R Bergh. 2004. Nitrógeno en trigo : Rendimiento y calidad panadera. II. Fertilización complementaria. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca, Buenos Aires. p 153-154.
- Pipino, LL; Lee, YW & RY Yang. 2002 Data Quality Assessment. Communications of the Acm 45 (84): 211- 218.
- Prystupa, P; R Savin & GA Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N x P fertilization in barley. Field Crops Research 90: 245-254.
- Redman, TC. 2004. Data: An Unfolding Quality Disaster. DM Review Magazine, August 2004. <http://www.dmreview.com/issues/20040801/1007211-1.html>.
- Ron, MM & T Loewy. 2000. Effect of phosphorus placement on wheat yield and quality in south-western Buenos Aires (Argentina). Communications in Soil Science and Plant Analysis 31(17 &18): 2891-2900.
- Rowley, J. 2007. The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. Journal of Information Science 33 (2): 163–180.
- Seltman, HJ. 2011. Experimental Design and Analysis. <http://www.stat.cmu.edu/~hseltman/309/Book/Book.pdf>.
- Steel, RGD & JA Torrie. 1992. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mac Graw Hill.
- Wang, S; Y Wang; E Schnug; S Haneklaus & J Fleckenstein. 2002. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield, quality and digestibility and nitrogen and sulphur

metabolism of sheep in the Inner Mongolia Steppes of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 195–202.

CAPITULO 4

DOSIS ÓPTIMA ECONOMICA DE NITRÓGENO PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD EN CEBADA CERVECERA

4.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de la cebada cervecera es un prerequisite para su acceso a la industria. El grano que no alcanza los estándares fijados por las malterías se puede comercializar a un precio menor, como forraje. Frecuentemente la fertilización con nitrógeno (N) impacta negativamente sobre la calidad comercial, y ocasionalmente arroja contenidos proteicos excesivamente altos. Esto último es más común en variedades tradicionales como Quilmes Palomar (Lázzari *et al.*, 2007). Además de la proteína se puede afectar el tamaño del grano y por ende su calibre (% retenido por una zaranda de 2,5 mm) como se mostró en la Tabla 2.4.

Este hecho determina que no es adecuado asumir homogeneidad del producto para cálculos económicos. En la bibliografía se registran estudios que aplican funciones de la ganancia neta en función del insumo cuando este afecta no solo el rendimiento sino también la calidad, en cultivos tan diversos como la remolacha azucarera (Van Tassel, 1996) o el heno de gramíneas (Norton *et al.*, 1997).

El enfoque general para N en trigo, utilizado por Baker *et al.* (2004) consiste en usar funciones de respuesta del rendimiento y de la proteína. Aplicando el precio base de venta para trigo (con la estructura de bonificaciones para la proteína) y el precio del N se derivan las funciones de ganancia neta. A partir de allí se obtiene la dosis óptima económica (DOE) de N, para combinaciones seleccionadas de precios e ingresos por calidad.

Alternativamente, es posible expresar la función de ganancia en términos de rendimiento de grano. Con este objetivo se utilizan relaciones insumo-producto que incluyan todos los costos variables asociados con la compra y aplicación del insumo (en este caso el fertilizante) previa deducción de los gastos de comercialización. La relación de precios

obtenida (R) suele ser bastante estable y en las investigaciones puede aplicarse su valor histórico para la consideración de condiciones promedio (Colwell, 1994).

En cebada cervecera, el análisis resulta más complejo debido al rango de proteína relativamente estrecho que determina su aceptación dentro del estándar (SENASA, 2014) y al efecto combinado de N sobre proteína y calibre. Una solución consiste en estimar la relación entre el precio del grano comercializado como forraje (cuando es de calidad inferior a la requerida) y el precio del grano que cumple con los requisitos del estándar. De este modo se pueden convertir los rendimientos de producto de calidad inferior a unidades equivalentes de la calidad deseada, para trabajar con curvas de respuesta en rendimiento de calidad homogénea.

Un problema adicional es la gran variedad de curvas de respuesta que pueden aplicarse. Se han propuesto numerosas formas funcionales para describir la respuesta del rendimiento y de la proteína, al N. Una relación tradicional entre el rendimiento de la mayoría de los cultivos y la disponibilidad de N está dada por un modelo lineal y de meseta (Tisdale *et al.*, 1993). Otros esquemas comparan la respuesta en rendimiento y proteína para distintos niveles de disponibilidad de N como en la [Fig. 1.10](#). Asimismo, los modelos cuadráticos, frecuentemente utilizados por la facilidad de ajuste, contemplan una eventual depresión del rendimiento, por exceso de N.

La diversidad de enfoques obedece a la multiplicidad de formas encontradas cuando se interpolan resultados de ensayos de fertilización con varias dosis de un nutriente. Las tendencias que se visualizan, a partir de datos experimentales, dependen de la fertilidad inicial de los suelos que se utilizan en los ensayos de fertilización y del espectro y espaciamiento de dosis empleadas (Colwell, 1994). En muchos trabajos se ajustan distintos modelos a los datos obtenidos y se selecciona el que brinda un mejor ajuste. Una alternativa a la elección de una función individual, que necesariamente variará con los datos obtenidos, consiste en utilizar un promedio ponderado de una variedad de curvas, según lo propone Bruulsema (2013) en su Crop Nutrient Response Tool (CNRT), hoja de cálculo traducida al español (Ron & Martínez, 2012). CNRT ofrece como mejor DOE a la obtenida de la

combinación de cinco ecuaciones diferentes: lineal y de meseta (o plateau), cuadrática, cuadrática-plateau, Mitscherlich y esférica plateau.

El objetivo de este trabajo es informar estimaciones “ex post facto” de la DOE de N para cebada cervecera y evaluar su variación cuando se considera el efecto del nutriente sobre la calidad.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos provenientes de una red de 27 ensayos llevados a cabo entre 1999 y 2002, con la variedad Quilmes Palomar. Los tratamientos incluyeron dosis y época de aplicación de N: emergencia (0, 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹), macollaje (0, 30 y 60 kg ha⁻¹). En los ensayos del año 2002 no se incluyeron los tratamientos de 90 y 120 kg ha⁻¹ en emergencia.

Se empleó como referencia la [Tabla 2.4](#) que registra las unidades experimentales en que el grano satisfizo los requisitos para maltería. Para los casos restantes, en que el grano se comercializaría como forraje, se asumió que la cebada para consumo animal tendría un precio de venta igual a 80% del obtenido para el grano dentro de la tolerancia de recibo. No se consideraron en esta aproximación descuentos por calidad menor dentro de la tolerancia establecida. Se multiplicó por 0,8 el rendimiento para convertirlo en unidades equivalentes de producto calidad maltera. La [Tabla 4.1](#) muestra un ejemplo.

Tabla 4.1. Ejemplos de valores de rendimiento de cebada cervecera, proteína y calibre y rendimiento equivalente (corregido por calidad) (Tres Arroyos 2002, Bloque I)

Tratamiento kg N ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹	Proteína %	Calibre %>2,5 mm	Rendimiento equivalente kg ha ⁻¹
0	2590	11,3	88	2590
30 emergencia	2476	12,2	88	2476
30 macollaje	2870	12,4	84	2870
60 emergencia	3618	12,5	79	2894
60 macollaje	3122	13,3	72	2498

Se calcularon los promedios de los rendimientos originales y equivalentes para los tratamientos testigo y fertilizados en una sola época, utilizando sólo los datos seleccionados

en el capítulo 2. Se desarrollaron modelos del rendimiento en función de la dosis de N. Para la fertilización en emergencia se obtuvieron ecuaciones sobre el rango completo de dosis (0 a 120 kg N ha⁻¹, ensayos 1999 a 2001) y para las mismas dosis utilizadas en macollaje (0 a 60 kg N ha⁻¹).

Para combinar las estimaciones de DOE provistas por distintas funciones se utilizó la herramienta Crop Nitrogen Response Tool (CNRT). Se ingresó en la hoja de cálculo una concentración de N en grano de 1,9% y un índice de cosecha del N de 0,67, como parte de las restricciones impuestas por la herramienta para poder definir DOE, aun con estructura de datos “no ideales” (Ron, 2013). Se utilizó una relación de precios de 9 kg de cebada cervecera por kg N aplicado, compatible con la relación histórica de 8, documentada para trigo pan (Álvarez, 2008).

Para comparar los promedios de DOE basados en el rendimiento y en el rendimiento equivalente se utilizó una prueba t de medias apareadas. En forma análoga se contrastaron las DOE para aplicación en emergencia derivadas de dos rangos diferentes de dosis y las DOE estimadas para fertilización en emergencia y en macollaje. Se empleó el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La herramienta CNRT resultó de gran utilidad para estimar rápidamente la DOE a partir de 5 funciones diferentes. Para los datos originales y los rendimientos equivalentes se obtuvieron ecuaciones que difirieron de acuerdo con la pérdida de calidad por fertilización descripta en la [Tabla 2.4](#). La [Fig. 4.1](#) muestra, a modo de ejemplo, los ajustes realizados por el macro de CNRT para la fertilización en emergencia en PIG00. Se observa para los dos tipos de datos la diferente interpolación que hacen las cinco funciones y la tendencia intermedia marcada por la media ponderada. Se aprecia, además, la disminución del rendimiento equivalente con respecto al original. La DOE para ese ensayo se habría estimado en más de 100 kg N ha⁻¹ si no se hubiera tenido en cuenta la calidad, reduciéndose

para los rendimientos equivalentes a menos de la mitad. Esta reducción también significó una disminución de la ganancia neta máxima del orden de 100 kg grano ha^{-1} .

Todos los resultados de DOE y ganancia neta máxima se muestran en la Tabla 4.2. En los casos con $\text{DOE} < 5 \text{ kg N ha}^{-1}$, esta se registró como 0. Para la relación de precios usada, la fertilización fue rentable en 15 ensayos, cuando se asumió que la totalidad del grano tenía calidad maltera. Cuando se corrigió por calidad solo se obtuvieron DOE superiores a 5 kg N ha^{-1} en 11 experimentos.

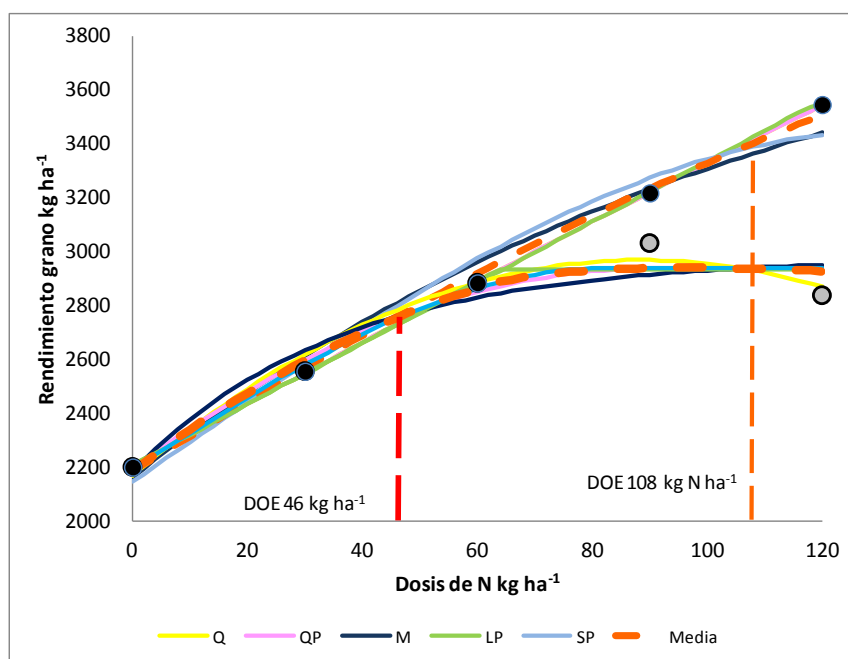


Fig. 4.1. Ajuste por CNRT de 5 funciones diferentes Q: cuadrática; QP: cuadrática plateau; M: Mitscherlich; LP: lineal plateau, SP: esférica plateau y media ponderada. Círculos negros y grises rendimiento y rendimiento equivalente, en ese orden (Pigüé 2000).

Los promedios de DOE mostraron una superioridad consistente cuando no se tuvo en cuenta la calidad del grano (Tabla 4.3). Se obtuvieron estimaciones de DOE distintas en cada sitio según rango de dosis y la época de aplicación, pero los promedios no se diferenciaron estadísticamente. El análisis realizado con el estándar vigente con anterioridad a octubre de 2014 dio resultados muy similares a los aquí presentados en Ron *et al.* (2013, 2014).

Tabla 4.2 Dosis óptima económica (DOE, expresada en kg N ha⁻¹) y ganancia neta máxima (GN en kg grano ha⁻¹) según ensayo, rango de dosis y época de aplicación del fertilizante.

a) Datos originales de rendimiento

Sitio	DOE	GN	DOE	GN	DOE	GN
	0 - 120 kg Ne ha ⁻¹		0 - 60 kg Ne ha ⁻¹		0 - 60 kg Nm ha ⁻¹	
ALB99	0	0	0	0	0	0
AZUL99	25	0	0	0	54	41
BORD99	12	14	26	22	25	67
PIG99	0	0	0	0	0	0
SMAY99	83	1439	62	1285	56	602
CSUA99	13	78	20	131	0	0
TSAS99	0	0	0	0	24	86
URU99	0	0	0	0	0	0
ALB00	59	183	58	119	25	194
BORD00	83	1668	52	1497	32	731
CASC00	42	360	57	408	21	147
PIG00	108	244	56	127	37	410
PUAN00	0	0	12	108	31	213
TSAS00	0	0	0	0	0	0
BORD01	0	0	35	143		
CMQTA01	0	0	0	0	0	0
CMQTE01	0	0	0	0	0	0
CONS01	16	75	17	153	27	43
DULTA01	0	0	5	3	0	0
DULTE01	0	0	0	0	0	0
SMIG01	42	59	35	119	0	0
ALB02			0	0	20	68
CAB02			0	0	0	0
CONS02			15	88	61	240
DUL02			38	180	0	0
PUAN02			36	683	57	604
CMQ02			34	446	46	356

Nota: N_e: nitrógeno en emergencia, N_m: nitrógeno en macollaje

Cuando se consideró el efecto de la fertilización sobre la calidad, sólo se derivaron DOE superiores a una aplicación mínima de base de 25 kg N ha⁻¹ en 7 de 27 ensayos (Tabla 4.2b). Un 70 % de estos 7, correspondieron a los años 2000 y 2002 que fueron los que registraron globalmente mayores rendimientos (Tabla 2.3). En 1999 se destacó San Mayol. De todos los sitios, Bordenave fue el que mostró mayor consistencia en cuanto a la rentabilidad de la fertilización nitrogenada.

b) Rendimiento equivalente

Sitio	DOE	GN	DOE	GN	DOE	GN
	0 - 120 kg Ne ha ⁻¹		0 - 60 kg Ne ha ⁻¹		0 - 60 kg Nm ha ⁻¹	
ALB99	0	0	0	0	0	0
AZUL99	0	0	0	0	0	0
BORD99	0	0	0	0	20	26
PIG99	0	0	0	0	0	0
SMAY99	66	1328	63	1339	33	501
CSUA99	0	0	14	73	0	0
TSAS99	0	0	0	0	0	0
URU99	0	0	0	0	0	0
ALB00	0	0	0	0	0	0
BORD00	98	1361	49	1460	29	697
CASC00	49	331	63	450	58	123
PIG00	46	153	56	127	27	386
PUAN00	0	0	0	0	0	0
TSAS00	0	0	0	0	0	0
BORD01	0	0	35	143		
CMQTA01	0	0	0	0	0	0
CMQTE01	0	0	0	0	0	0
CONS01	0	0	11	74	0	0
DULTA01	0	0	0	0	0	0
DULTE01	0	0	0	0	0	0
SMIG01	0	0	17	137	0	0
ALB02			0	0	16	12
CAB02			15	88	0	0
CONS02			45	429	62	400
DUL02			0	0	0	0
PUAN02			28	625	25	398
CMQ02			0	0	17	124

Nota: N_e: nitrógeno en emergencia, N_m: nitrógeno en macollaje

Tabla 4.3 Comparación de medias apareadas para los valores de DOE (kg N ha⁻¹) sin tener en cuenta la calidad y en base a rendimiento equivalente, para distintos rangos de dosis en emergencia y épocas de aplicación

Rango de dosis kg ha ⁻¹	N en emergencia n = 27		N en macollaje n = 26
	0 - 120	0 - 60	0 - 60
DOE media datos originales	29,2	20,5	17,8
DOE media rendimiento equivalente	11,8	14,5	8,5
p<0,05 (t a dos colas)	0,023	0,029	0,002

Los resultados de este estudio muestran las consecuencias económicas negativas de la sobrefertilización, cuando la calidad del producto no es considerada. Una situación opuesta podría encontrarse con el uso de las variedades modernas de cebada cervecera, en años favorables, de acuerdo con la revisión de Sylvester *et al.* (2009), los resultados reportados por Prystupa *et al.* (2008) y Loewy *et al.* (2008) y el reporte para trigo pan de Gandorfer & Rajsic (2008).

4.4 CONCLUSIÓN

Los resultados enfatizan la importancia de medir variables de calidad para incorporarlas a los análisis de la respuesta productiva a N, en cebada cervecera en particular y cultivos de grano en general. La metodología empleada a) cuantifica el error de dosis óptima económica cuando no se trabaja con calidad homogénea y b) podría aplicarse o adaptarse a otros cultivos.

Se ratifica que la rentabilidad de la práctica se asocia a los años con mayores rendimientos, independientemente de los sitios de ensayo. Las características de los sitios en que se obtuvo mayor ganancia neta por fertilización se explorarán en capítulos subsiguientes.

4.5 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. 2008. Análisis de la conveniencia económica de utilizar umbrales fijos para recomendar la fertilización nitrogenada y fosforada de trigo. VII Congreso Nacional de Trigo, Santa Rosa, La Pampa.
- Baker, DA; Young D L; DR Huggins & WL Pan. 2014. Economically Optimal Nitrogen Fertilization for Yield and Protein in Hard Red Spring Wheat. *Agronomy Journal* 96: 116–123.
- Bruulsema, TW. 2013. Crop Nutrient Response Tool version 4.3. IPNI Northeast Regional Web. Disponible en: <http://nane.ipni.net/article/NANE-3068>.

- Colwell, JD. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. CAB International. Oxon. UK.
- Di Rienzo, JA, F Casanoves, MG Balzarini, L González, M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
- Gandorfer, M & P Rajsic. 2008. Modeling economic optimum nitrogen rates for winter wheat when inputs affect yield and output-price. *Agricultural Economics Review*. 9 pp. 54-64 Disponible en: http://www.eng.auth.gr/mattas/9_2_5.pdf.
- Lázzari, MA; MR Landriscini & M. Echagüe. 2007. Nitrogen uptake by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 371-388.
- Loewy, T; R. Bergh; G Ferraris; L Ventimiglia; FH Gutierrez Boem & P Prystupa. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera Cv. Scarlett: I. Efecto del Nitrógeno inicial. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero delos Funes, San Luis. Actas en CD Rom.
- Norton, NA; RT Clark; PE Reece & KM Eskridge. 1997. Quality as a factor in the optimal choice of fertilization and harvest date of meadow hay. *Journal of Production Agriculture* 10: 551-557.
- Prystupa, P; G Ferraris; R Bergh; T Loewy, L Ventimiglia & FH Gutiérrez Boem. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlet: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Actas en CD Rom.
- Ron, MM 2013. Descubriendo la herramienta CNRT (Crop Nutrient Response Tool). *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS)* 9. Marzo 2013:21-25.
- Ron, MM; R Storniolo & AF Rausch. 2014 Dosis óptima económica de nitrógeno para rendimiento y calidad en cebada cervecera XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, Buenos Aires, 5 al 9 de mayo de 2014. Actas en CD Rom.

- Ron, MM; R Storniolo & AF Rausch. 2013. Dosis óptima económica de nitrógeno en cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.). 4^{to} Congreso Latinoamericano de cebada, Bahía Blanca, Buenos Aires, Actas en CD Rom.
- Ron, MM. & JM Martínez. 2012. Herramienta para evaluar la respuesta a nutrientes en cultivos. Traducción y adaptación de la planilla de cálculo “CNRT v4.1 - Crop Nutrient Response Tool” (creada por T. Bruulsema, 2013). Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1184> desde 28/12/2012.
- SENASA, 2014. Resolución 27/2013 S.A.G.P.y A. - Norma V - cebada, Anexo A – Cebada Cervecera. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1592&io=26331>. Fecha de último acceso: Octubre de 2014.
- Sylvester-Bradley R & D Kindred 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 60: 1939–1951.
- Tisdale SL; Nelson WH; Beaton JD & JL Havlin. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publishing Company.
- Van Tassell, L.W., B. Yang., & A.D. Blaylock. 1996. Economic analysis of alternative nitrogen fertilization methods for sugarbeets. *Journal of Production Agriculture* 9: 390–394.

CAPITULO 5

MODELO DE RESPUESTA DE “CEBADA CERVECERA” (*Hordeum vulgare* L.) AL NITRÓGENO APLICADO EN EMERGENCIA

5.1 INTRODUCCION

La producción de cereales generalmente está limitada por la disponibilidad de N en el suelo debido a los altos requerimientos de los mismos y a las deficiencias en los suelos, observada con frecuencia (Echeverría & Sainz Rosas, 2005).

La respuesta a la aplicación de nitrógeno (N) depende de condiciones ambientales, particularmente la fertilidad nitrogenada, la disponibilidad hídrica en primavera y la temperatura del aire. El cultivo utiliza el N más eficientemente para su crecimiento y desarrollo cuando no está expuesto a temperaturas extremas durante los últimos estadios de crecimiento. Además, la dinámica del N en el suelo, y su absorción y distribución en la planta están influidas por características edáficas (Lázzari *et al.*, 2001).

La respuesta del rendimiento de cebada cervecera a dosis creciente de fertilizante nitrogenado ha sido caracterizada en numerosos trabajos nacionales e internacionales y es similar a la observada en otros cultivos (Birch *et al.*, 1997; Fathi *et al.*, 1997, Ron & Loewy, 1996). En cuanto al momento de aplicación, a medida que se posterga la adición, el efecto sobre los componentes del rendimiento disminuye, favoreciendo el incremento de proteína en grano (Stone & Savin, 1999).

Baethgen *et al.* (1995) demostraron que la disponibilidad temprana del nitrógeno (siembra y/o emergencia) es crucial en la definición de los componentes iniciales del rendimiento del cultivo. Esto revela la conveniencia de fraccionar, en general, la dosis de base, apuntando a una mayor sincronización entre la oferta del nutriente y la demanda del cultivo. Sin embargo, una aplicación única a la siembra presenta innegables ventajas operativas y es la opción aconsejable cuando la dosis de base es relativamente baja.

La comprensión cuantitativa de los efectos de la aplicación de N en emergencia (Ne), puede mejorarse a través de modelos matemáticos empíricos (France & Thornley, 1984). El

objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo general del rendimiento y respuesta de cebada cervecera a la aplicación de Ne.

5.2 MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron datos provenientes de 20 ensayos llevados a cabo entre 1999 y 2001, con la variedad Quilmes Palomar. El N se aplicó como urea manualmente en emergencia del cultivo. Las dosis utilizadas fueron 0, 30, 60, 90 y 120 kg Ne ha⁻¹. Mayor información sobre los ensayos se encuentra en el Capítulo 2 de esta tesis.

Los factores que afectan el rendimiento y la respuesta a la fertilización estuvieron representados por variables de sitio continuas y categóricas. Las características de las variables climáticas se muestran en las Tablas 5.1 y 5.2. Las variables edáficas y categóricas para año de ensayo, textura del suelo y región se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.1. Medidas resumen de las precipitaciones registradas.

Variable Precipitaciones (mm)	Periodo	Media	D.E.	Mín.	Máx.	Mediana
Julio	Mes	33	34	0	126	20
Agosto	Mes	46	30	0	100	46
Julio a agosto	2 meses	95	43	28	171	97
Setiembre 1°	decádica	24	17	0	67	20
Setiembre 2°	decádica	15	16	0	71	9
Setiembre 3°	decádica	35	40	0	144	19
Setiembre	mes	73	33	16	154	70
Julio a setiembre	3 meses	168	55	53	243	165
Octubre 1°	decádica	40	35	0	106	42
Octubre 2°	decádica	18	11	4	41	14
Octubre 3°	decádica	44	26	8	94	35
Octubre	mes	101	55	23	183	123
Julio a octubre	4 meses	269	92	125	387	276
Noviembre 1°	decádica	42	35	7	155	34
Noviembre 2°	decádica	23	23	1	65	14
Noviembre 3°	decádica	26	26	0	76	20
Noviembre	mes	92	60	16	230	98
Julio a noviembre	4 meses	361	111	185	539	328

Tabla 5.2. Medidas resumen de las temperaturas medias diarias y la media máxima registrada.

Variable	Periodo	Media	D.E.	Mín.	Máx.	Mediana
Temperatura media (°C)						
T- Setiembre 1°	decádica	10	2	7	15	9
T- Setiembre 2°	decádica	11	2	8	16	11
T- Setiembre 3°	decádica	13	1	12	17	13
T- Septiembre	Mes	11	2	10	16	11
T- Octubre 1°	decádica	12	1	9	14	12
T- Octubre 2°	decádica	15	2	13	20	15
T- Octubre 3°	decádica	16	2	13	21	16
T- Octubre	Mes	15	1	13	18	15
T- Noviembre 1°	decádica	15	1	13	18	16
T- Noviembre 2°	decádica	18	3	14	23	17
T- Noviembre 3°	decádica	19	2	15	23	18
T- Noviembre	Mes	17	1	15	21	17
Temperatura media máxima (°C)						
TM -Setiembre 1°	decádica	15	3	10	22	15
TM Setiembre 2°	decádica	17	3	11	24	16
TM Setiembre 3°	decádica	19	3	13	24	18
TM Septiembre	Mes	17	3	11	23	16
TM Octubre 1°	decádica	17	1	14	20	16
TM Octubre 2°	decádica	21	3	16	26	20
TM Octubre 3°	decádica	22	3	18	27	21
TM Octubre	Mes	20	2	18	24	19
TM Noviembre 1°	decádica	21	1	17	24	21
TM Noviembre 2°	decádica	25	4	18	32	23
TM Noviembre 3°	decádica	25	4	17	31	26
TM Noviembre	Mes	23	3	17	28	23

Para el desarrollo del modelo se aplicó el procedimiento de Colwell (1994) que consta de 3 etapas: a) elección del modelo para la relación rendimiento:dosis de fertilizante, b) cálculo de las variables dependientes y c) relación entre las variables dependientes y las variables de sitio.

Se eligió una ecuación cuadrática para describir la relación rendimiento:dosis de nitrógeno en cada ensayo. Esta elección se fundamentó en que el espaciado entre dosis utilizado se aproxima al ideal para la estimación de las regresiones cuadráticas con base natural (Colwell, 1994).

Para cada sitio se ajustó una ecuación del tipo

$$y = b_0 + b_1 N_e + b_2 N_e^2 + b_3 L_b + b_4 Q_b + b_5 C_b \text{ (Ec.5.1)}$$

donde y : rendimiento; N_e : la dosis de fertilizante en kg N ha^{-1} ; L_b : variable de clase para el efecto lineal entre bloques con valores de -3, -1, +1 y +3 para los bloques 1, 2, 3 y 4, en ese orden; Q_b : ídem para efecto cuadrático +1, -1, -1, +1 y C_b : ídem para efecto cúbico -1 + 3 - 3 - 1. b_0 a b_5 , coeficientes. En los ensayos con solo tres bloques se emplearon dos variables L_b y Q_b : con valores -1, 0, 1 y +1, -2, +1 para los bloques, 1 2 y 3, respectivamente.

A partir de los coeficientes b_0 , b_1 y b_2 , se derivaron 3 variables dependientes para cada ensayo que representan el promedio del rendimiento \bar{Y} la tendencia lineal de la respuesta (A_{N_e}) y el efecto de curvatura (B_{N_e}).

$$\bar{Y} = b_0 + b_1 \bar{N}_e + b_2 \bar{N}_e^2 \quad (\text{Ec. 5.2})$$

$$A_{N_e} = b_1 + b_2 h \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$B_{N_e} = b_2 \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Las constantes utilizadas en el cálculo de las variables fueron

$$\bar{N}_e = \sum N_e / 5 = (0 + 30 + 60 + 90 + 120) / 5 = 60 \quad (\text{Ec. 5.5})$$

$$\bar{N}_e^2 = \sum N_e^2 / 5 = (0 + 900 + 3600 + 8100 + 14400) / 5 = 5400 \quad (\text{Ec. 5.6})$$

$$h = [\sum (N_e - \bar{N}_e)^3 / \sum (N_e - \bar{N}_e)^2] + 2 \bar{N}_e = 120 \quad (\text{Ec. 5.7})$$

Se realizaron correlaciones de las variables de rendimiento entre sí y con las variables de sitio continuas. A partir de estos resultados se seleccionaron las variables de sitio a ser empleadas en los modelos de regresión múltiple

Se desarrollaron regresiones múltiples de las variables del rendimiento en función de variables de sitio continuas seleccionadas y de variables categóricas. Se aplicó el procedimiento paso a paso "stepwise" para seleccionar los mejores modelos. Para ingresar o retener variables se utilizó $P < 0,15$, valor medio entre $P = 0,05$ utilizado para rechazar la hipótesis nula y $P = 0,25$, para aceptarla.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSION

Los coeficientes para la Ec. 5.1 se muestran en la Tabla 5.4. Dado que se utilizaron valores de polinomios ortogonales para las variables L_b , Q_b y C_b , los coeficientes b_3 , b_4 y b_5 representan medidas independientes de la magnitud de las tendencias respectivas entre los bloques. Todas las regresiones en la Tabla 5.4 fueron altamente significativas $p < 0,001$, con coeficientes de determinación que oscilaron entre 0,10 y 0,92. Los bloques aportaron significativamente a la explicación de la variabilidad en 8 ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a Ne (b_1 y b_2) fueron significativos en 8 experimentos. Las ecuaciones de regresión para los efectos de los tratamientos en cada ensayo se obtuvieron eliminando los términos de los bloques de las regresiones, ya que el valor medio de cada una de las variables L_b , Q_b y C_b es cero.

Tabla 5.3. Características de las variables edáficas y categóricas

VARIABLES EDÁFICAS	ABREVIATURA	UNIDADES	MEDIA	D.E.	MÍN.	MÁX.
Materia orgánica	MO	g kg ⁻¹	32,4	10,8	13,6	54,6
Potencial Hidrógeno	pH		6,3	0,7	5,2	8,0
Fósforo disponible	P –BK	mg kg ⁻¹	15	8	3	33
VARIABLES CATEGÓRICAS						
Año de ensayo						
1999	año99	0: no corresponde				
2000	año00	1: corresponde				
2001	año01					
Textura suelo						
Arenosos	Arenosos	0: no corresponde				
No arenosos	no arenosos	1: corresponde				
Región en la Prov. de Bs. As						
Centro sur y sudeste	Sur	0: no corresponde				
Norte y Centro (*)	Norte	1: corresponde				
Sudoeste	SO					

MO Walkley & Black Carreira (2005); pH potenciométrico en agua 1:2,5; P –BK Bray & Kurtz (1945); Boschetti *et al.* (2003). (*) a esta zona se suma un ensayo realizado en Uruguay

En la [Tabla 5.5](#) se muestran las variables del rendimiento. Estas cumplen con la propiedad estadística de ortogonalidad, necesaria para que las estimaciones de una regresión puedan combinarse y evaluar los resultados de ensayos de fertilización.

Tabla 5.4. Coeficientes de la [Ec. 5.1](#) para los 20 ensayos

Localidad	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	n	R ²
ALB99	3787	-13,4	0,08	-31	191	51	18	0,60
AZUL99	4308	6,99	-0,07	41,1	-261,1	16,9	20	0,32
BORD99	781	11,71	-0,06	18	-34	-13	20	0,83
PIG99	2207	1,41	0,0025	63	-199	19	20	0,33
SMAY99	1371	42,61	-0,19	55	-0,46	-58	18	0,85
CSUA99	4314	7,84	-0,05	-93	-15	-17	20	0,57
TSAS99	1816	3,16	-0,01	31	42,	0,23	18	0,35
URU99	1562	-0,01	-35,94	-51		2	14	0,10
ALB00	3462	20,51	-0,1	32	36	19	19	0,68
BORD00	1943	46,82	-0,21	91	-213	-79	20	0,92
CASC00	3665	22,2	-0,14	32	225	16	20	0,73
PIG00	2048	18,02	-0,04	-93	159	70	16	0,87
PUAN00	4659	2,24	-0,09	93	-74	-5	20	0,36
TSAS00	3914	9,63	-0,13	7	102	11	20	0,63
BORD01	1428	8,28	-0,03	-160	-141		15	0,73
CMQTE01	3246	0,5	-0,04	-11	-65	28	19	0,28
CONS01	3279	12,93	-0,1	48	-15	35	20	0,28
DULTE01	4299	-1,4	-0,00065	31	-8	-83	19	0,22
DULTA01	4912	-11,07	0,05	-174	17	30	20	0,59
SMIG01	2417	13,71	-0,07	27	51	-28	19	0,69

Coeficientes significativos a $p < 0,05$ en negrita

El \bar{Y} osciló entre 1268 kg ha⁻¹ (Bordenave 1999) y 4641 kg ha⁻¹ (Azul 1999). A_{Ne} es generalmente cercano a la eficiencia agronómica de la dosis mayor, es decir que representa la respuesta a la máxima dosis. Los dos ensayos con mayor respuesta fueron San Mayol (1999) y Bordenave (2000) con un A_{Ne} de alrededor de 20 kg grano kg N⁻¹. Un tercio de los ensayos tuvo A_{Ne} negativa o cercana a cero ([Tabla 5.5](#)). Estos incluyen experimentos en que se registró alguna respuesta positiva a la dosis menor y caída de rendimiento con aumento de dosis.

La correlación entre las variables del rendimiento y las variables continuas de sitio se muestran en la [Tabla 5.6](#). Las asociaciones más significativas se verificaron entre B_{Ne} y las variables climáticas. Esta variable del rendimiento es la menos conocida y es difícil dilucidar si la correlación refleja una relación causa efecto o una configuración casual de los datos.

Por lo contrario la asociación entre el rendimiento y la materia orgánica del suelo en zonas heterogéneas ha sido bien documentada por otros autores para trigo (Loewy & Ron 1995, Diaz Zorita *et al.*, 1999) y por Quiroga *et al.* (2006) para cebada cervecera. Los resultados pueden explicarse a través de la relación existente entre la materia orgánica, textura y clima descripta por Álvarez & Lavado (1998).

Tabla 5.5. Variables de rendimiento

ENSAYO	Año	Región	Y	A_{Ne}	B_{Ne}
ALB99	1999	N	3271	-3,8	0,08
AZUL99	1999	N	4641	-3,8	-0,13
BORD99	1999	SO	1268	4,5	-0,06
PIG99	1999	SO	2283	1,1	0,00
SMAY99	1999	Sur	3244	19,8	-0,19
CSUA99	1999	SO	4605	1,8	-0,05
TSAS99	1999	Sur	1970	2,0	-0,01
URU99	1999	N	1623	0,4	-0,01
ALB00	2000	N	4333	8,5	-0,10
BORD00	2000	SO	3997	21,6	-0,21
CASC00	2000	Sur	4494	5,4	-0,14
PIG00	2000	SO	2985	13,2	-0,04
PUAN00	2000	SO	4470	-8,6	-0,09
TSAS00	2000	Sur	4024	-6,0	-0,13
BORD01	2001	SO	1817	4,7	-0,03
CMQTE01	2001	Sur	3133	-4,3	-0,04
CONS01	2001	Sur	3695	0,9	-0,10
DULTE01	2001	Sur	4213	-1,5	0,00
DULTA01	2001	Sur	4428	-5,1	0,05
SMIG01	2001	SO	2988	5,3	-0,07
Media			3374	3	-0.06
Mínimo			1268	-8,6	-0.21
Máximo			4641	21,6	0.08

Dada la escasa o nula relación de \bar{Y} , A_{Ne} con las variables climáticas las regresiones de las variables de rendimiento seleccionaron variables edáficas y categóricas. Estos resultados se diferencian de los modelos desarrollados por otros autores. En el SO bonaerense Loewy & Ron (1995 y 2001) encontraron asociaciones significativas del rendimiento y respuesta a N en trigo y cebada con las precipitaciones mensuales. Abeledo & Miralles (2011), usando modelos de simulación agronómica, encontraron que las variaciones interanuales del rendimiento se debieron principalmente a las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo.

El modelo de fertilidad consta de 3 ecuaciones que se muestran en la [Tabla 5.7](#). Los coeficientes de determinación, relativamente bajos, son frecuentes en este tipo de modelos, definiendo la naturaleza descriptiva de su aplicación. Para el cultivo de cebada cervecera Loewy *et al.* (2008) obtuvieron un modelo del rendimiento en función del N suelo + N fertilizante con un coeficiente de determinación de 0,30, cuando generalizaron los resultados en una red de 19 ensayos realizada durante dos años con la variedad Scarlett, en las principales zonas productoras del país.

Tabla 5.6. Coeficiente de correlación entre variables del rendimiento y variables continuas de sitio.

Variable	\bar{Y}	A_{Ne}	B_{Ne}	Variable	\bar{Y}	A_{Ne}	B_{Ne}
MO	<u>0,37</u>	-0,34	0,27	T- Setiembre 1°	-0,07	0,07	0,09
pH	-0,31	-0,03	-0,15	T- Setiembre 2°	<u>-0,38</u>	-0,23	0,49
P-BK	0,03	-0,20	-0,17	T- Setiembre 3°	-0,3	-0,12	<u>0,42</u>
Julio	-0,24	0,10	-0,24	T- Septiembre	-0,27	-0,08	0,34
Agosto	0,06	0,32	-0,45	T- Octubre 1°	-0,06	-0,1	0,24
Julio a agosto	0,18	0,02	-0,06	T- Octubre 2°	-0,23	-0,14	0,35
Setiembre 1°	-0,22	0,41	0,07	T- Octubre 3°	-0,48	-0,03	0,41
Setiembre 2°	0,27	-0,21	-0,31	T- Octubre	-0,36	-0,10	0,43
Setiembre 3°	-0,15	-0,15	0,19	T- Noviembre 1°	0,18	-0,08	0,09
Setiembre	-0,17	-0,06	0,11	T- Noviembre 2°	-0,3	-0,15	0,39
Julio a setiembre	0,04	-0,03	0,02	T- Noviembre 3°	-0,15	-0,01	0,07
Octubre 1°	0,19	0,06	-0,15	T- Noviembre	-0,19	-0,12	0,29
Octubre 2°	-0,27	0,09	-0,14	TM -Setiembre 1°	0,09	0,07	-0,04
Octubre 3°	0,34	-0,12	0,13	TM Setiembre 2°	<u>-0,38</u>	-0,23	0,45
Octubre	0,23	0,00	-0,07	TM Setiembre 3°	-0,17	0,17	0,13
Julio a octubre	0,16	-0,01	-0,03	TM Septiembre	-0,17	-0,03	0,21
Noviembre 1°	-0,08	0,06	0,09	TM Octubre 1°	-0,08	0,15	0,00
Noviembre 2°	0,09	-0,27	0,34	TM Octubre 2°	-0,13	-0,01	0,15
Noviembre 3°	0,01	0,03	-0,02	TM Octubre 3°	-0,50	0,11	0,28
Noviembre	-0,01	-0,06	0,17	TM Octubre	-0,30	0,04	0,24
Julio a noviembre	0,13	-0,04	0,07	TM Noviembre 1°	0,16	-0,09	0,15
				TM Noviembre 2°	-0,25	-0,07	0,31
				TM Noviembre 3°	-0,10	0,07	-0,04
				TM Noviembre	-0,16	-0,18	0,29

r crítico (n= 20) 0,37; 0,43 y 0,55 para p=0,10; 0,05 y 0,01, en ese orden.
 Coeficientes significativos a p <0,05 subrayados. Variables ver [Tablas 5.1, 5.2 y 5.3](#)

Tabla 5.7. Modelo general de fertilidad para cebada cervecera.

variable – ecuación	R ²	R ² aj	p valor
$\bar{Y} = 1479 + 47,49 \text{ MO} + 1186 \text{ año}00$	0,39	0,31	<0,02
$A_{\text{Ne}} = 3,15 + 12,19 \text{ arenosos} - 7,20 \text{ año}01$	0,33	0,25	<0,04
$B_{\text{Ne}} = -0,04 - 0,08 \text{ año}00$	0,24	0,20	<0,03

Variables ver [Ec. 5.1 a 5.4](#) y [Tabla 3](#)

Para \bar{Y} el método stepwise seleccionó MO y la variable categórica para el año 2000, que indica rendimiento de más de una tonelada en promedio, en los ensayos llevados cabo ese año. La variabilidad general de \bar{Y} se aprecia en la [Fig. 5.1](#). El coeficiente para la MO es similar al obtenido por Loewy & Ron (1995) en un modelo de fertilidad nitrogenada para trigo pan en el sudoeste bonaerense. Quiroga *et al.* (2006) también relacionaron el rendimiento de cebada cervecera en parcelas sin fertilizar con la MO en Haplustoles de la provincia de La Pampa y encontraron una pendiente mucho mayor. Esto es atribuible a la diferencia en el rango de la variable predictiva (6 a 29 g MO kg⁻¹ para los suelos pampeanos) y al mayor peso de la variable cuando no se incluyen parcelas fertilizadas.

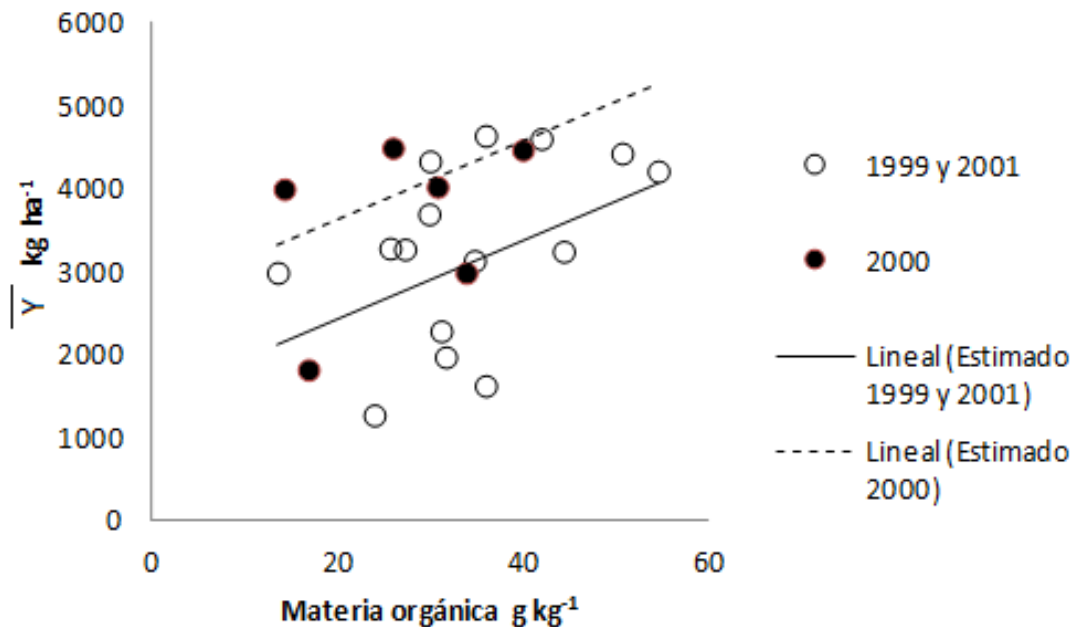


Fig. 5.1. Relación entre el \bar{Y} con la materia orgánica del suelo.

Para A_{Ne} y B_{Ne} se obtuvieron ecuaciones en función de las variables categóricas que resumen, en realidad, promedios de grupos. En la Fig. 5.2 (a) se aprecia la tendencia a menor eficiencia global en los ensayos del año 2001. Los 3 ensayos en suelos arenosos ($MO < 17 \text{ g kg}^{-1}$) presentaron los valores mayores de A_{Ne} en cada grupo. En forma similar corresponde un mayor ajuste por curvatura a los ensayos del año 2000 con valores inferiores de B_{Ne} .

En los modelos el factor año superó a las variables climáticas, de precipitaciones y temperatura, y a la zona. Esto sugiere que la integración de variables específicas de cada año (calidad y oportunidad de lluvias, temperatura, radiación, etc.) implica una impronta más determinante que cualquier componente parcial.

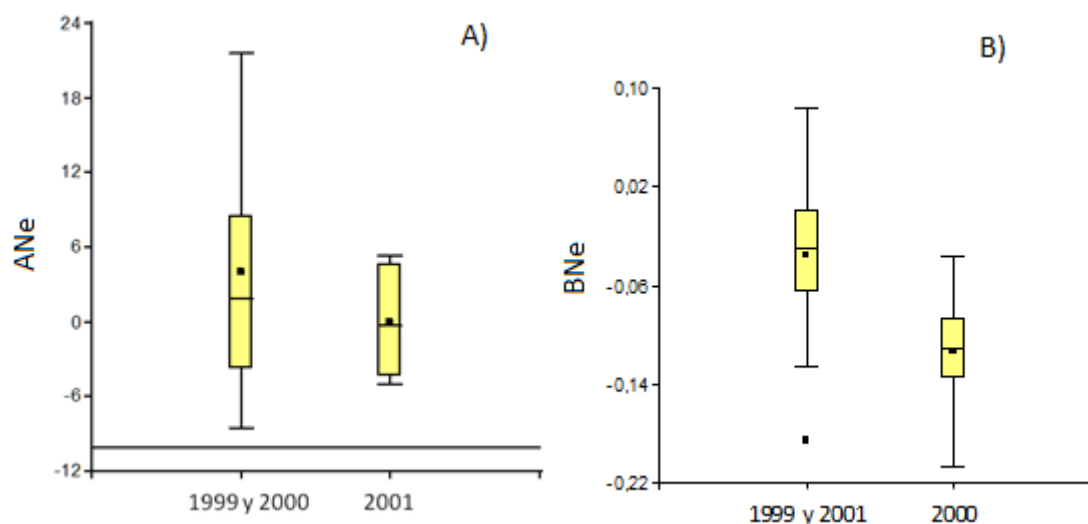


Fig.5.2. Distribución en dos grupos, según año de ensayo, de a) A_{Ne} y b) B_{Ne}

Las ecuaciones para A_{Ne} y B_{Ne} de Tabla 5. 6 se resolvieron tomando las 6 combinaciones posibles de textura del suelo y años y se estimaron b_1 y b_2 a partir de las Ec. 5.2 y 5.3 (Tabla 5.8).

Tabla 5.8. Estimación de los coeficientes b_1 y b_2 (Ec. 5.1) a partir de las ecuaciones en **Tabla 5.7.** resultas para los grupos de suelos según año.

Suelos	Año	\hat{A}_{Ne}	$\hat{B}_{Ne} = b_2$	\hat{b}_1
arenosos	1999	15,34	-0,04	20,14
arenosos	2000	15,34	-0,12	29,74
arenosos	2001	8,14	-0,04	12,94
no arenosos	1999	3,15	-0,04	7,95
no arenosos	2000	3,15	-0,12	17,55
no arenosos	2001	-4,05	-0,04	0,75

En la **Fig. 5.3** se muestran las curvas correspondientes de incremento por fertilización excepto para los suelos no arenosos en 2001 que tuvieron respuesta casi nula o negativa. Aunque las curvas muestran retornos decrecientes para los suelos arenosos no se llegó al máximo con el rango ensayado de dosis, mientras que en los no arenosos las curvas para los años 1999 y 2000 maximizan a las dosis de 95 y 75 kg Ne ha⁻¹, respectivamente.

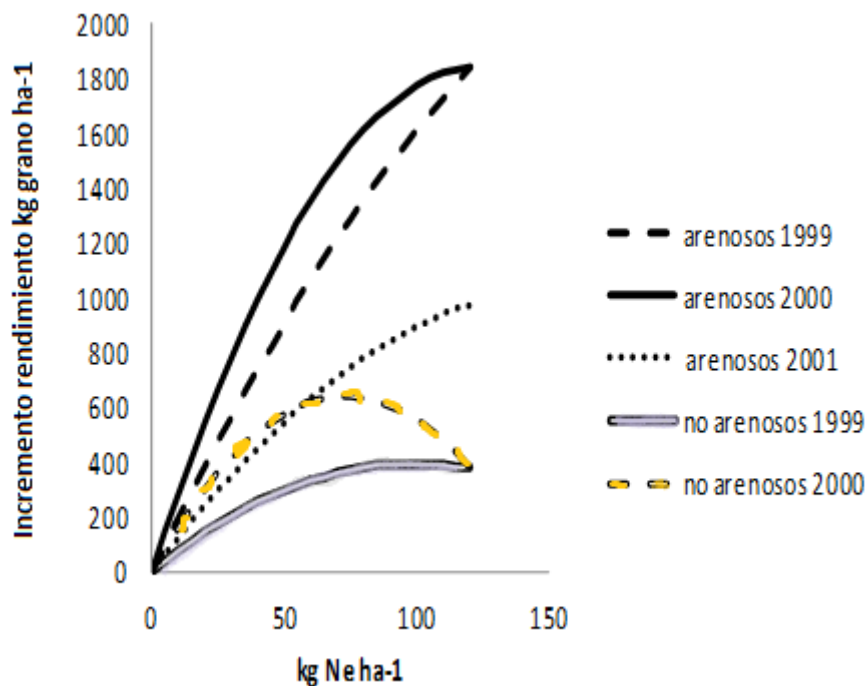


Fig. 5.3. Curvas de respuesta a la fertilización construidas a partir de los coeficientes en **Tabla 5.8**

Las ecuaciones de la [Tabla 5.7](#) dan información sobre las variaciones de fertilidad en las zonas en que se efectuaron los ensayos. El modelo de fertilidad es coherente con el hecho esperable que la fertilidad es mayor cuanto mayor es el contenido de la materia orgánica y que en suelos arenosos (los de menor fertilidad) se espera la mayor respuesta al N aplicado en emergencia. Sin embargo, al ser pocos los casos con suelos arenosos aumenta el riesgo por omisión involuntaria de alguna variable de sitio no incluida en el análisis. Las curvas de la [Fig. 5.3](#) no son adecuadas para ser usadas predictivamente. En particular, la baja explicación de la ecuación para A_{Ne} , señala la necesidad de utilizar variables edáficas más específicas. A pesar de los bajos coeficientes de determinación se progresó en la comprensión cuantitativa y se resumieron los datos experimentales para 20 ensayos.

5.4 CONCLUSION

A los fines descriptivos, el modelo obtenido pone de relevancia el efecto del año en cultivos extensivos de secano.

En cuanto a las variables con potencial uso predictivo, el modelo seleccionó dos. La materia orgánica se confirmó como un indicador de productividad que sintetiza varios atributos de cada sitio. Se ratificó la mayor aptitud de respuesta al nitrógeno en suelos arenosos, a partir de su condición inherente de baja fertilidad.

5.5 BIBLIOGRAFIA

- Abeledo, G & DJ Miralles. 2011. Manejo del nitrógeno en interacción con otros estreses en trigo y cebada: Usos de modelos de simulación agronómica. En: Ariel Castro, Esteban Hoffman y Luis Viega (Editores). Limitaciones para la productividad de trigo y cebada. ISBN 978-9974-0-0723-9. Pp. 59-66.
- Alvarez & RS Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils. *Geoderma* 83: 127-141.

- Baethgen, E; B Christianson & A García Lamothe. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crops Res.* 43: 87-99.
- Birch, CJ; S Fukai & IJ Broad. 1997. Estimation of responses of yield and grain protein concentration of malting barley to nitrogen fertiliser using plant nitrogen uptake. *Australian Journal of Agricultural Research* 48, 635-48.
- Boschetti, G; C Quintero; M Díaz-Zorita & M Barraco. 2003. Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 17:6-9.
- Colwell, JD. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. CAB International. Oxon. UK: 169-198.
- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp.91-98 en: Marbán, L y SE Ratto (*eds.*) *Tecnologías en análisis de suelos*. Alcance a Laboratorios Agropecuarios, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 215 pp.
- Díaz-Zorita, M; DE Buschiazzo & N Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the Semiarid Argentine Pampas. *Agronomy Journal* 91:276-279.
- Echeverría, HE & H Sainz Rosas 2005. Nitrógeno. Pp. 69-95. *En:* HE, Echeverría & FO, García (*eds.*). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Fathi, G; GK McDonald & RCM Lance. 1997. Responsiveness of barley cultivars to nitrogen fertiliser. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: 199-211.
- France, J & JHM Thornley. 1984. *Mathematical models in Agriculture*, Butterworths, London, 335 p.
- Lázzari, MA; MR Landriscini; MA Cantamutto; AM Miglierina & R Rosell. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 19: 101-108.
- Loewy, T; R Bergh; G Ferraris; L Ventimiglia; FH Gutierrez Boem & P Prystupa. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera Cv. Scarlett: I. Efecto del Nitrógeno inicial. *En:*

XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis.
Actas en CD Rom.

Loewy, T & MM Ron. 2001. Componentes de rendimiento en trigo y cebada cervecera bajo distintos niveles nutricionales. V Congreso Nacional de Trigo, Villa Carlos Paz. p 7.

Loewy, T & MM Ron. 1995. Nitrogen fertilization recommendations for wheat in southwestern Buenos Aires (Argentina). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 2041-2050.

Quiroga, A; D Funaro, E. Noellemeyer, N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 90: 63–68.

Ron, MM & T Loewy. 1996. Análisis de la respuesta de cebada cervecera a nitrógeno y fósforo en tres suelos del Sudoeste Bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 47-49.

Stone, PJ & Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants, R. Editors Satorre, E. H.; Slafer, G. A. Book *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. ISBN 1-56022-874-1. pp.85–120.

CAPITULO 6

MODELO DE LA RESPUESTA DE CEBADA CERVECERA A NITRÓGENO APLICADO EN EMERGENCIA Y MACOLLAJE

6.1 INTRODUCCION

A los efectos de describir la respuesta al nitrógeno (N), el Capítulo 5 no contempló las aplicaciones en macollaje ni el fraccionamiento, que implica examinar la interacción entre las dos épocas de fertilización (Ron & Loewy, 2000). Además, se concluyó que es necesario incorporar variables edáficas directamente relacionadas con la disponibilidad de N.

Para 17 ensayos del mismo proyecto, Landriscini *et al.* (2004a) estudiaron la eficiencia relativa del N aplicado en dos épocas: emergencia y macollaje y concluyeron que ambos momentos presentaban eficiencias semejantes. Resultados similares fueron encontrados por Echague *et al.* (2001). No obstante estos trabajos no analizaron la aplicación fraccionada, que es una acción conveniente para la fertilización de base porque otorga mayor flexibilidad en la práctica (Borghini 1999).

El capítulo anterior tampoco incluyó las otras tres variables del cultivo (proteína, peso de mil granos y calibre) que hacen a la calidad del grano y cuya estrecha asociación fue demostrada en el conjunto de todos los datos (Fig. 2.2). Por su relación directa con la economía del N, la proteína (PROT) se presenta como la variable de calidad más adecuada para analizar minuciosamente. A su vez, en la interpretación y evaluación de resultados en ensayos de fertilización nitrogenada el rendimiento de N (RN) es una variable muy útil. Esto se debe a que expresa el balance de rendimiento y PROT, representa la remoción del N y permite aproximar la eficiencia de recuperación del fertilizante (Loewy & Ron, 2008).

Por último en el capítulo 5 se concluyó que es necesario incorporar a los modelos de la respuesta variables edáficas directamente relacionadas con la disponibilidad de N.

Los objetivos del presente capítulo fueron:

- a) Caracterizar el espectro de suelos mediante variables edáficas susceptibles de variar en el corto plazo y establecer relaciones entre las mismas.

- b) Estimar la eficiencia agronómica, de recuperación y fisiológica del N en cebada cervecera.
- c) Calibrar análisis de suelos que estiman la disponibilidad de N para el cultivo.
- d) Desarrollar modelos que describan la respuesta a N (aplicado en emergencia, macollaje o fraccionado) en rendimiento (REND), PROT y RN.

6.2 MATERIALES Y METODOS

6.2.1 Ensayos y variables de sitio

Se utilizaron datos provenientes de 25 ensayos llevados a cabo entre 1999 y 2002. Los tratamientos seleccionados fueron 0, 30 y 60 kg N ha⁻¹ aplicados como dosis única en emergencia o en macollaje y un tratamiento de 60 kg N ha⁻¹ dividido en dos fracciones iguales aplicadas en cada época. Mayor información sobre los ensayos se encuentra en el Capítulo 2 de esta tesis.

Se emplearon variables de sitio continuas y categóricas. Las variables edáficas continuas se determinaron sobre muestras de suelo extraídas en presiembra en todos los sitios de ensayo. La profundidad de muestreo fue de 0-20 cm para los parámetros que no varían notablemente en el corto plazo. Se determinaron: pH, potenciométrico en suspensión suelo-agua relación 1:2,5; fósforo extraíble (P_{BK}) por Bray & Kurtz (Boschetti *et al.*, 2003) y se estimó la materia orgánica mediante el método de Walkley & Black, que analiza el carbono orgánico fácilmente oxidable por combustión húmeda (Carreira, 2005).

Para las determinaciones de formas de N inorgánico (Ni) se muestreó en tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm. La concentración de N de amonio (N-NH₄⁺) y N de nitrato (N-NO₃⁻) se determinó mediante extracción con KCl 2 M, usando una relación suelo extractante de 1:10. El extracto fue analizado por destilación de arrastre de vapor (Mulvaney, 1996). El Ni disponible inicial (Nii) se estimó mediante la suma de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻. Los resultados de todas las formas de Ni se expresaron en kg ha⁻¹. Para este cálculo se aplicaron los valores de densidad aparente determinados en 13 ensayos y promedios de los sitios en

cada localidad para el resto de los ensayos. Las características de las variables se muestran en la Tabla 6.1. Además de las variables continuas se emplearon variables categóricas de año de ensayo, textura del suelo y región al igual que en el capítulo anterior (Tabla 5.3).

Se realizaron correlaciones de las variables continuas de sitio, entre sí.

Tabla 6.1 Características de las variables edáficas continuas

Variable	Prof. cm	Abreviatura	Unidades	Media	D.E.	Mín.	Máx.	Mediana
Materia orgánica	0-20	MO	g kg ⁻¹	32	10,7	13,6	54,6	31,2
pH	0-20	pH		6,2	0,8	5	8	6,3
Fósforo disponible	0-20	P –BK	mg kg ⁻¹	15	9	3	33	15
N de nitratos	0-20	N-NO ₃ ⁻ (0-20)	kg ha ⁻¹	45	44	3	209	35
N de nitratos	0-60	N-NO ₃ ⁻ (0-60)	kg ha ⁻¹	95	78	4	362	76
N de amonio	0-20	N-NH ₄ ⁺ (0-20)	kg ha ⁻¹	15	14	0	51	12
N de amonio perfil	0-60	N-NH ₄ ⁺ (0-60)	kg ha ⁻¹	48	38	0	140	45
N inorgánico	0-20	Nii (0-20)	kg ha ⁻¹	60	50	4	237	53
N inorgánico perfil	0-60	Nii (0-60)	kg ha ⁻¹	143	98	4	407	132

6.2.2. Variables del cultivo, regresiones y variables dependientes

Las variables del cultivo analizadas fueron PROT, REND y RN. Esta última representa el N absorbido y depositado en el grano.

Se eligió una ecuación cuadrática para describir la relación entre las variables del cultivo y la dosis de N, al igual que en el capítulo anterior. Para cada ensayo se estimó una función cuadrática rendimiento-fertilizante, del tipo:

$$y = b_0 + b_1 N_e + b_2 N_e^2 + b_3 N_m + b_4 N_m^2 + b_5 N_e N_m + b_6 L_b + b_7 Q_b + b_8 C_b \text{ (Ec. 6.1)}$$

donde **y**: REND, PROT o RN; N_e y N_m : la dosis de fertilizante en kg N ha⁻¹ aplicados en emergencia o macollaje, en ese orden; L_b : variable de clase para el efecto lineal entre bloques con valores de -3, -1, +1 y +3 para los bloques 1, 2, 3 y 4, en ese orden; Q_b : ídem para efecto cuadrático +1, -1, -1, +1 y C_b : ídem para efecto cúbico -1 + 3 - 3 - 1; b_0 a b_8 : coeficientes. En los ensayos con solo tres bloques se emplearon dos variables L_b y Q_b , con valores -1, 0, 1 y +1, -2, +1 para los bloques, 1 2 y 3, respectivamente. A partir de los coeficientes b_0 a b_5 , se

derivaron seis variables dependientes para cada ensayo y variable del cultivo que se describen en la [Tabla 6.2](#), junto con las constantes utilizadas en el cálculo (Colwell, 1994).

Las variables dependientes A_{Ne} y A_{Nm} representan la respuesta a la fertilización. Son equivalentes a la pendiente de una regresión lineal entre una variable del cultivo y la dosis de N aplicada en una de las dos épocas de fertilización, con un ajuste para la aplicación fraccionada (Ec. 6.3 y 6.4).

Para conocer el efecto de la época sobre la respuesta del cultivo se graficaron comparativamente las variables A_{Ne} con A_{Nm} para REND, PROT y RN y se contrastaron sus medias utilizando una prueba t de medias apareadas. Del mismo modo que para las variables de sitio se correlacionaron las variables dependientes para REND, PROT y RN entre sí.

Tabla 6.2 Descripción y cálculo de las variables dependientes

Descripción	Cálculo
Efecto cero	
\bar{Y} : Promedio del ensayo	$\bar{Y} = b_0 + b_1 \bar{N}_e + b_2 \bar{N}_e^2 + b_3 \bar{N}_m + b_4 \bar{N}_m^2 + b_5 \bar{N}_e \bar{N}_m$ (Ec. 6.2)
Efectos lineales	
A_{Ne} : Respuesta a N en emergencia	$A_{Ne} = b_1 + b_2 h N_e + b_5 \bar{N}_m$ (Ec. 6.3)
A_{Nm} : Respuesta a N en macollaje	$A_{Nm} = b_3 + b_4 h N_m + b_5 \bar{N}_e$ (Ec. 6.4)
Efectos de curvatura	
B_{Ne} : Curvatura a N en emergencia	$B_{Ne} = b_2$ (Ec. 6.5)
B_{Nm} : Curvatura a N d en macollaje	$B_{Nm} = b_4$ (Ec. 6.6)
Interacciones	
B_{NeNm} : Interacción entre N en emergencia y macollaje	$B_{NeNm} = b_5$ (Ec. 6.7)
Promedios utilizados	
Dosis de N en emergencia	$\bar{N}_e = \sum N_e / 6 = (0 + 30 + 60 + 0 + 0 + 30) / 6 = 20$
Dosis de N en macollaje	$\bar{N}_m = \sum N_m / 6 = (0 + 30 + 60 + 0 + 0 + 30) / 6 = 20$
Dosis de N en emergencia al cuadrado	$\bar{N}_e^2 = \sum N_e^2 / 6 = (0 + 900 + 3600 + 0 + 0 + 900) / 6 = 900$
Dosis de N en macollaje al cuadrado	$\bar{N}_m^2 = \sum N_m^2 / 6 = (0 + 900 + 3600 + 0 + 0 + 900) / 6 = 900$
Producto dosis de N en emergencia x dosis de N en macollaje	$\bar{N}_e \bar{N}_m = (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 900) / 6 = 150$
Constante para efecto lineal	
N en emergencia	$h_{Ne} = [\sum (N_e - \bar{N}_e)^3 / \sum (N_e - \bar{N}_e)^2] + 2 \bar{N}_e = 54$
N en macollaje	$h_{Nm} = [\sum (N_m - \bar{N}_m)^3 / \sum (N_m - \bar{N}_m)^2] + 2 \bar{N}_m = 54$

Las variables dependientes A_{Ne} y A_{Nm} (REND) se utilizaron como estimación de la eficiencia agronómica de una dosis de 60 kg N ha^{-1} porque resume el efecto lineal de la fertilización sobre el rendimiento. A su vez las pendientes de la regresión lineal entre RN y las dosis de N (A_{Ne} y A_{Nm} para RN) aproximaron la eficiencia de recuperación del N del fertilizante (Barbieri *et al.*, 2001). Se estimó la eficiencia fisiológica como la pendiente de las relaciones entre a) A_{Ne} (REND) y A_{Ne} (RN) y b) A_{Nm} (REND) y A_{Nm} (RN). Se evaluaron las regresiones en conjunto y se compararon las pendientes (Delogu *et al.*, 1998).

Para la calibración de los análisis de Ni se utilizó como variable dependiente A_{Ne} (REND) y A_{Nm} (REND), como variables predictivas de la respuesta se utilizó la forma de Ni que mejor correlacionó con las variables dependientes. Se usaron modelos discontinuos para hallar valores que separan clases con distinta probabilidad de respuesta, aplicando los métodos gráficos y de análisis de varianza de Cate & Nelson (1965, 1971) y la prueba t propuesta por Nelson & Anderson (1977).

6.3 RESULTADOS y DISCUSION

6.3.1. Variables de sitio

La correlación entre las variables edáficas de [Tabla 6.1](#) se muestra en la [Tabla 6.3](#). Se excluyó el P –BK porque se asumió suficiencia en los ensayos en virtud de la fertilización de base con 20 kg P ha^{-1} , que recibieron todos los tratamientos.

Tabla 6.3. Correlación entre variables edáficas

	MO	pH	N-NO ₃ ⁻ (0-20)	N-NO ₃ ⁻ (0-60)	N-NH ₄ ⁺ (0-20)	N-NH ₄ ⁺ (0-60)	N _{ii} (0-20)
MO	1						
pH	-0,46	1					
N-NO ₃ ⁻ (0-20)	0,47	-0,41	1				
N-NO ₃ ⁻ (0-60)	0,52	-0,47	0,94	1			
N-NH ₄ ⁺ (0-20)	0,06	-0,07	0,33	0,39	1		
N-NH ₄ ⁺ (0-60)	0,05	-0,23	0,22	0,33	0,83	1	
N _{ii} (0-20)	0,42	-0,38	0,96	0,93	0,57	0,42	1
N _{ii} (0-60)	0,43	-0,46	0,84	0,93	0,64	0,66	0,91

Valores críticos de r para 24 gl. 0,39 y 0,50 para p= 0,05 y 0,01, respectivamente.

La MO y el pH correlacionaron significativamente entre sí y con las formas de Ni a excepción del N-NH_4^+ . La relación negativa entre MO y pH se debe al espectro edafoclimático abarcado por los ensayos. En zonas más húmedas es mayor el contenido de MO (Álvarez & Lavado, 1998) y se incrementa el lavado de bases con la consiguiente disminución del pH. Los tres suelos de textura arenosa en (BORD00, SMIG01 y PUAN02) presentan una condición diferente.

Por otra parte los suelos con menor pH usualmente tienen un mayor contenido de MO porque los microorganismos son menos activos en suelos ácidos. El pH afecta directamente la actividad de los hongos, bacterias y actinomicetes involucrados en la descomposición de la MO, proceso cuya velocidad es mayor en suelos más cercanos a la neutralidad (Gregorich & Janzen, 1998). La asociación negativa entre el pH y el Nii de la [Tabla 6.3](#) podría ser indirecta, en coincidencia con lo reportado por Curtin *et al.* (1998), porque los suelos con menor pH fueron los de más alto contenido de N orgánico (sustrato mineralizable). A su vez, la correlación entre pH y Nii (0-60 cm). Se registró una correlación similar entre pH y N-NO_3^- , dada la asociación altamente significativa del Nii con N-NO_3^- .

Las formas de Ni determinadas a la profundidad de 0-20 cm tuvieron una correlación altamente significativa con las analizadas en 0-60 cm. Esto permite estimar las cantidades en el perfil del suelo mediante el análisis de la muestra más superficial ([Fig. 6.1](#)). La relación más estrecha entre las formas de Ni en superficie y en profundidad correspondió al N-NO_3^- ([Fig. 6.1 a](#)). La mayor pendiente para el N-NH_4^+ puede atribuirse a la humedad creciente en profundidad, que limita la actividad de las bacterias nitrificadoras (Stark & Firestone, 1995), con la resultante de una menor relación $\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$ ([Fig. 6.1 b](#)). La pendiente para la relación N-NO_3^- (0-60)/ N-NO_3^- (0-20) es ligeramente inferior al valor reportado por Bono & Álvarez (2007) para suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana y es coherente con la observación de Álvarez & Steinbach (2012) de una reducción aproximada de 50% cada 20 cm en los primeros 60 cm de profundidad del suelo.

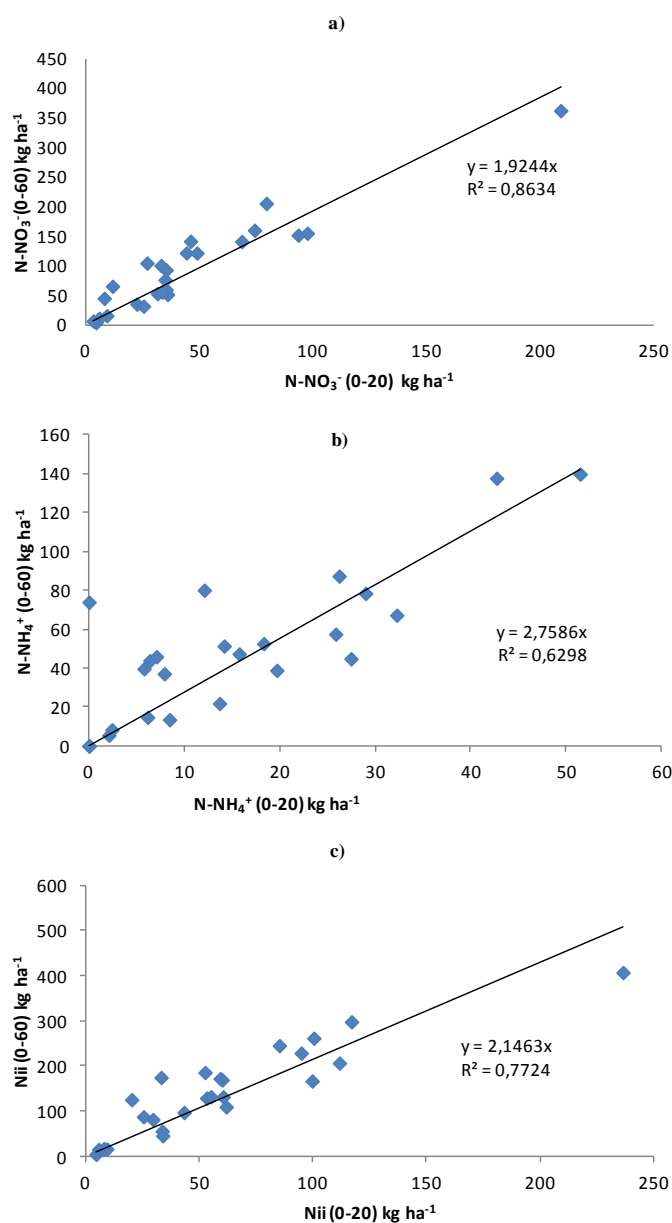


Fig. 6.1 Predicción de formas de N inorgánico en la profundidad de 0-60 cm a partir del análisis de una muestra más superficial (0-20 cm): a) N-NO_3^- b) N-NH_4^+ y c) N_{ii}

6.3.2 Ecuaciones de regresión

Los coeficientes para la Ec. 6.1 se muestran el ANEXO IV. Para REND los coeficientes de determinación de las regresiones oscilaron entre 0,21 y 0,87 y aproximadamente un 50% fueron significativas o altamente significativas. Los bloques aportaron significativamente a la explicación de la variabilidad en 14 ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a N_e (b_1 y b_2), N_m (b_3 y b_4) y a la interacción $N_e N_m$ (b_5) fueron significativos en cuatro, siete y dos experimentos, respectivamente.

Para PROT el R^2 se mantuvo en el rango de 0,25 a 0,96. Además 16 de 25 regresiones fueron significativas o altamente significativas. Los bloques aportaron significativamente a la explicación de la variabilidad en un 50% de los ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a N_e (b_1 y b_2) y N_m (b_3 y b_4) fueron significativos en cuatro experimentos. El coeficiente para la interacción $N_e N_m$ (b_5) sólo fue significativo en una ecuación.

Dado que se utilizaron valores de polinomios ortogonales para las variables L_b , Q_b y C_b , los coeficientes b_6 , b_7 y b_8 representan medidas independientes de la magnitud de las tendencias respectivas entre los bloques. Las ecuaciones de regresión para los efectos de los tratamientos en cada ensayo se obtuvieron eliminando los términos de los bloques de las regresiones ya que el valor medio de cada variable es cero.

En la [Fig. 6.2](#) se muestran dos ejemplos de las extrapolaciones que se pueden obtener a partir de la [Ec. 6.1](#) para estimar REND a combinaciones de N_e y N_m distintas de la ensayada. La interacción entre épocas se analiza gráficamente mediante curvas isoproducto. Cuando éstas son cóncavas, se interpreta como de interacción positiva entre los factores analizados (Jáuregui & Sain, 1992; Loewy & Ron, 1998). Cuando los factores son la época de aplicación se debe discriminar el efecto negativo por incremento de dosis al realizar dos aplicaciones sucesivas de N (Colwell, 1994). Para REND superiores a 1000 y 3000 kg ha⁻¹ en BORD99 y PIG00, respectivamente, las curvas isoproducto cóncavas indican la conveniencia del fraccionamiento para dosis totales que superen los 40 kg N ha⁻¹.

Los coeficientes de determinación de las regresiones de RN oscilaron de 0,33 a 0,86 y aproximadamente un tercio de las regresiones fueron significativas o altamente significativas. Los coeficientes de los bloques fueron significativos en 10 ensayos, mientras que los coeficientes para la respuesta a N_e (b_1 y b_2), N_m (b_3 y b_4) y a la interacción $N_e N_m$ (b_5) fueron significativos en nueve, trece y dos experimentos, respectivamente.

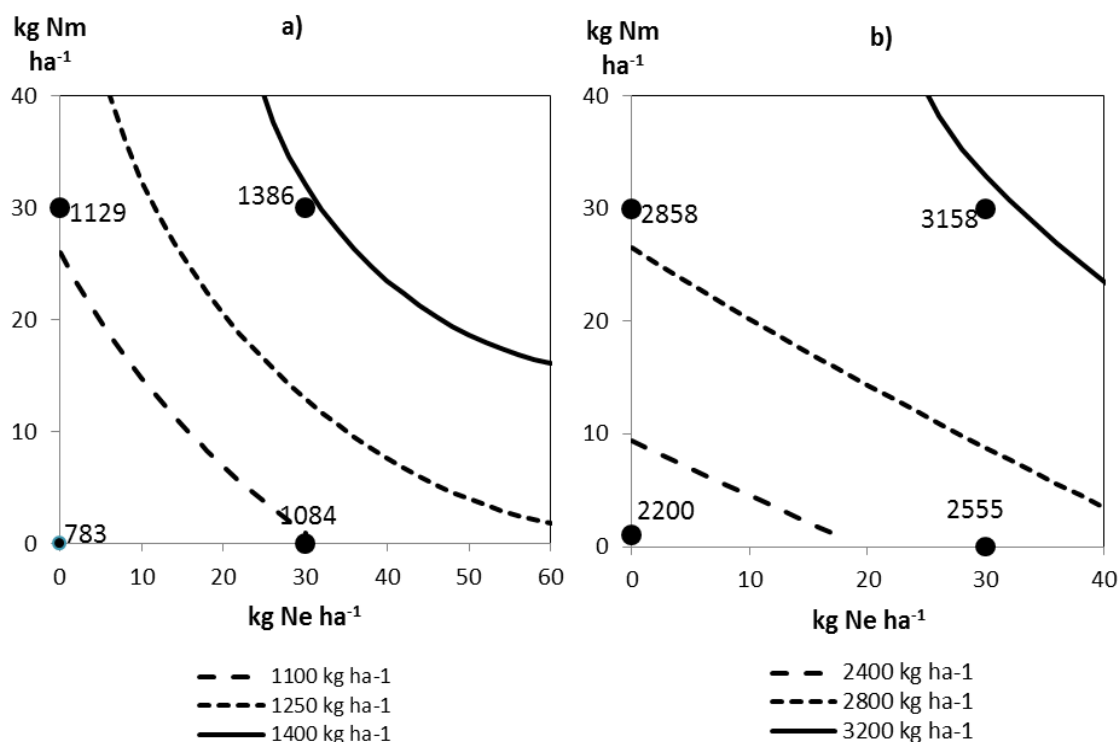


Fig. 6.2 Curvas isoproducto derivadas de los coeficientes de la Ec. 6.1 ajustada para a) BORD99 y b) PIG00. Los círculos y números corresponden a los promedios de REND para los tratamientos 0, 30e, 30m y 30e-30m

6.3.3 Variables dependientes

En la [Tabla 6.4](#) se muestran las variables dependientes del cultivo. Estas cumplen con la propiedad estadística de ortogonalidad, necesaria para que las estimaciones de una regresión puedan combinarse y evaluar los resultados de ensayos de fertilización. El ensayo de menor promedio para REND y RN y mayor PROT fue BORD99. Los mayores valores promedio de REND y RN fueron para PUAN00 y DULTA01, en ese orden y el mínimo de PROT se encontró en BORD00.

Tabla 6.4 Variables dependientes.

Ensayo	Rendimiento (kg/ha)						Proteína (%)						Rendimiento de N (kg/ha)					
	\bar{Y}	A _{Ne}	A _{Nm}	B _{Ne}	B _{Nm}	B _{Ne} * _{Nm}	\bar{Y}	A _{Ne}	A _{Nm}	B _{Ne}	B _{Nm}	B _{Ne} * _{Nm}	\bar{Y}	A _{Ne}	A _{Nm}	B _{Ne}	B _{Nm}	B _{Ne} * _{Nm}
ALB99	3397	-10,80	-8,55	-0,220	0,200	-0,070	13,90	0,045	0,046	0,0002	0,0000	0,0003	75,9	0,005	0,078	-0,004	-0,180	0,005
AZUL99	4675	1,53	2,61	-0,110	-0,240	-0,220	11,87	0,045	0,038	0,0006	0,0001	0,0012	88,4	0,336	0,466	0,003	0,290	0,000
BORD99	1138	6,95	7,00	-0,090	-0,150	-0,050	14,98	0,020	0,031	0,0007	-0,0001	0,0002	27,6	0,247	0,279	0,002	0,340	-0,003
PIG99	2376	0,08	4,29	-0,020	-0,010	-0,170	13,78	0,055	0,051	0,0005	0,0008	0,0013	46,9	0,040	0,322	-0,010	0,760	-0,004
SMAY99	2421	23,58	11,82	-0,130	-0,170	-0,420	10,97	0,020	0,044	0,0008	0,0001	0,0005	42,7	0,504	0,389	0,001	0,590	-0,002
CSUA99	4499	2,64	0,47	-0,250	0,010	-0,220	11,84	0,024	0,023	0,0001	-0,0005	-0,0006	85,7	0,196	0,147	-0,003	0,520	-0,003
TSAS99	2000	-5,30	-0,19	-0,130	-0,180	-0,410	13,31	0,059	0,062	0,0002	0,0006	0,0013	42,3	0,067	0,187	-0,002	0,350	-0,002
URU99	1629	13,78	10,95	0,160	0,030	0,670	14,13	0,001	0,007	-0,0003	-0,0004	-0,0012	36,4	0,354	0,304	0,001	0,250	-0,003
ALB00	4032	10,59	10,18	0,180	-0,280	-0,020	12,37	0,007	0,012	0,0000	-0,0001	-0,0002	83,8	0,474	0,309	0,010	0,450	-0,004
BORD00	3120	23,34	7,75	-0,540	-0,560	-0,670	9,37	-0,019	-0,025	-0,0012	-0,0008	-0,0017	51,7	0,410	0,040	-0,010	0,980	-0,010
CASC00	4154	10,63	2,32	-0,120	-0,260	-0,280	11,29	0,025	0,034	0,0002	0,0002	0,0006	75,2	0,364	0,270	0,000	0,450	-0,003
PIG00	2778	11,67	14,01	-0,020	-0,340	-0,160	11,78	0,027	0,041	0,0003	0,0006	0,0010	47,9	0,160	0,240	-0,010	0,980	-0,010
PUAN00	4855	-3,76	3,53	-0,470	-0,230	-0,370	10,54	0,044	0,033	0,0006	0,0003	0,0003	81,7	0,259	0,328	-0,004	0,400	0,000
TSAS00	3929	-5,07	-8,99	-0,040	-0,310	-0,300	11,74	0,025	0,044	-0,0001	0,0003	-0,0001	72,6	-0,019	0,003	-0,001	0,430	-0,004
CMQTE01	3236	2,48	1,02	-0,030	-0,160	0,170	12,57	0,006	0,025	-0,0006	-0,0004	-0,0012	61,3	0,107	-0,062	-0,003	0,510	-0,010
CMQTA01	3190	2,62	-0,88	-0,360	0,010	0,210	12,07	0,013	0,022	-0,0009	-0,0002	-0,0014	52,0	0,500	0,790	-0,010	0,050	0,010
CONS01	3561	-1,34	-0,66	-0,330	-0,110	-0,430	12,74	0,007	0,001	0,0000	0,0002	-0,0001	69,7	-0,080	0,023	-0,010	0,120	0,002
DULTE01	4303	-5,31	0,32	-0,360	0,090	-0,170	13,46	0,006	0,013	-0,0002	-0,0002	-0,0003	85,4	0,070	-0,040	-0,020	0,900	-0,010
DULTA01	4465	-30,32	-34,20	-0,610	-0,610	-1,190	13,61	0,008	0,006	-0,0001	0,0001	0,0001	102,3	-0,470	-0,610	-0,010	0,530	-0,010
SMIG01	2635	5,27	-4,23	-0,120	-0,120	-0,230	10,29	0,009	-0,004	0,0003	0,0000	0,0003	44,2	0,150	-0,060	-0,001	0,080	-0,002
ALB02	2557	-0,92	7,91	-0,040	-0,170	0,080	13,77	-0,008	-0,005	-0,0004	-0,0001	-0,0010	57,1	-0,018	0,136	0,001	0,180	-0,002
CAB02	3175	-0,10	-6,32	-0,250	-0,220	-0,280	11,72	-0,006	0,000	0,0000	0,0002	-0,0002	58,9	-0,015	-0,090	-0,004	0,190	-0,003
CONS02	3977	9,43	11,89	-0,110	0,060	-0,150	11,96	0,009	0,013	-0,0001	0,0001	0,0001	76,1	0,254	0,330	-0,002	0,210	0,003
DUL02	4630	4,27	6,10	0,130	-0,330	0,290	11,90	0,017	0,017	0,0002	0,0003	0,0005	74,3	0,520	0,430	-0,010	-0,310	0,010
PUAN02	3466	10,81	10,23	-0,480	-0,180	-0,480	10,83	0,012	0,016	0,0003	0,0004	0,0007	54,2	-0,168	0,283	-0,020	0,410	-0,001
MEDIA	3368	3,07	1,94	-0,174	-0,169	-0,195	12,27	0,018	0,022	0,0001	0,0001	0,0000	63,8	0,170	0,180	-0,005	0,379	-0,002
MIN	1138	-30,32	-34,20	-0,610	-0,610	-1,190	9,37	-0,019	-0,025	-0,0008	-0,0017	-0,0008	27,6	-0,470	-0,610	-0,020	-0,310	-0,010
MAX	4855	23,58	14,01	0,180	0,200	0,670	14,98	0,059	0,062	0,0008	0,0013	0,0008	102,3	0,520	0,790	0,010	0,980	0,010

De los 25 ensayos A_{Ne} y/o A_{Nm} fueron negativas en once, cuatro y nueve, para REND, PROT y RN, respectivamente, indicando un efecto negativo de la fertilización. En los 15 ensayos con respuesta positiva de REND a la aplicación en emergencia, A_{Ne} fue en promedio de 8,7 kg grano kg^{-1} N aplicado. Para los 16 casos de aplicaciones en macollaje con efecto positivo sobre REND, la media de A_{Nm} fue de 6,6 kg grano kg^{-1} N aplicado. Un análisis análogo para la recuperación aparente de N del fertilizante dio un promedio similar en ambas épocas de alrededor 0,28 kg N acumulado en grano por kg^{-1} N aplicado. Estos valores son bajos pero están dentro del rango considerado como típico para cereales (Dobermann, 2007).

Las variables B_{Ne} y B_{Nm} representan el efecto de curvatura por aumento de dosis de N, y son negativas cuando la función interpola datos experimentales con retornos decrecientes. Se registraron unos pocos casos positivos, es decir funciones “no ideales” que, en el ajuste cuadrático, definieron un mínimo en vez de un máximo. En su mayoría B_{Ne} y B_{Nm} fueron negativas para REND y en menor grado para PROT y RN. En el caso de PROT esto es coherente con la respuesta lineal de la variable a la fertilización (retornos constantes) observada en algunos ensayos de este capítulo y también por Birch & Long (1990), entre otros. El coeficiente análogo para la aplicación fraccionada es B_{NeNm} .

La [Fig. 6.3](#) contrasta el efecto lineal de la respuesta a la fertilización para dos épocas de aplicación. Aunque A_{Nm} tendió a ser ligeramente superior a A_{Ne} en 12, 16 y 13 ensayos para REND ([Fig. 6.3a](#)), PROT ([Fig. 6.3b](#)) y RN ([Fig. 6.3c](#)), en ese orden, la media de A_{Nm} sólo fue significativamente superior a la de A_{Ne} para PROT.

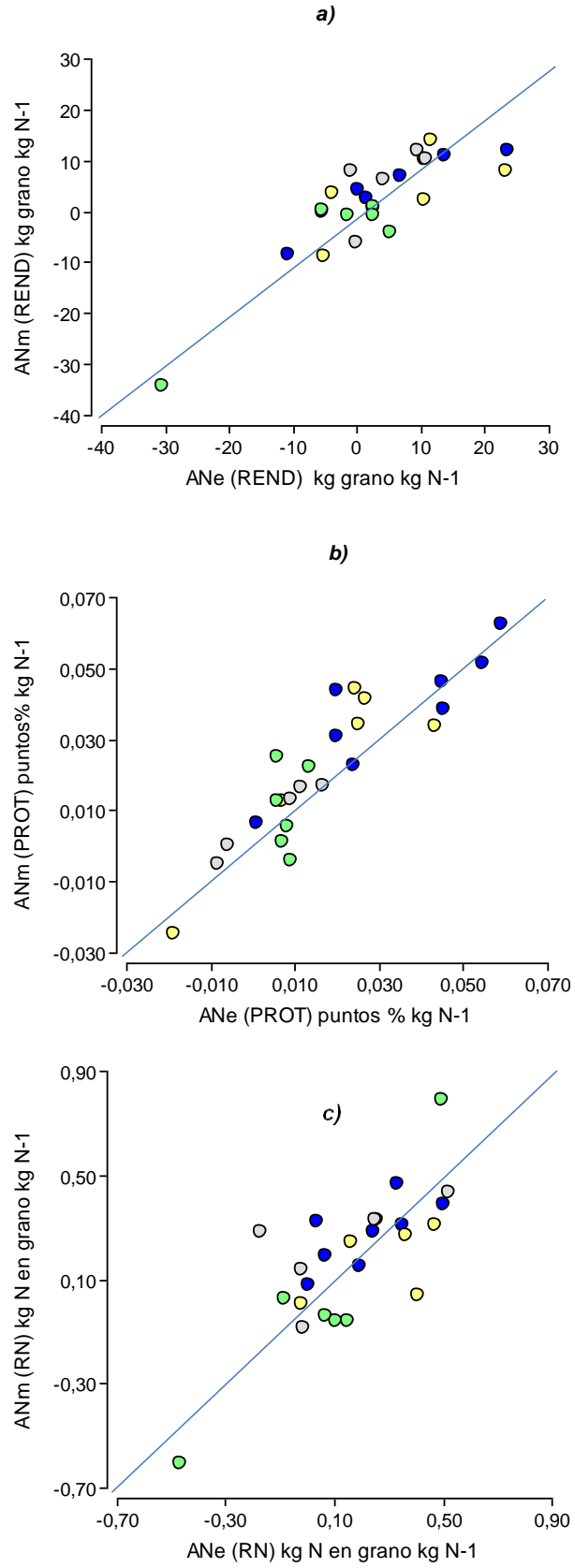


Fig. 6.3 Comparación del efecto lineal de la respuesta a N en dos épocas de aplicación para a) REND, b) PROT y c) RN. Diagrama de dispersión con línea 1:1. Círculos azules, amarillos, verdes y grises corresponden a años 1999, 2000, 2001 y 2002, respectivamente.

En la discriminación entre años se evidenció mayor respuesta a la aplicación en macollaje en el año 1999, con menores rendimientos en varios sitios debido a condiciones hídricas desfavorables, especialmente durante la etapa de llenado de granos (ver Capítulo 2).

Generalmente, las aplicaciones que aumentan la disponibilidad temprana de N permiten obtener respuestas en el rendimiento de los cereales, ya que se incrementa la producción de macollos y el número de espigas (Dreccer *et al.*, 2003). Cuando se registran insuficientes precipitaciones en etapas avanzadas del cultivo, un exceso de crecimiento vegetativo previo aumenta las pérdidas por evapotranspiración y consumo. En esas condiciones los ajustes morfológicos para reducir la transpiración (Farooq *et al.* (2011) serían menos efectivos en parcelas con mayor biomasa.

Las asociaciones de la [Fig. 6.3](#) fueron todas significativas, como lo muestra la [Tabla 6.5](#), con la correlación entre las variables dependientes que resumen el promedio y los efectos lineales de la aplicación de N en emergencia y macollaje. Además de las relaciones graficadas, las relaciones negativas de PROT con las medias de REND confirman - para este grupo de ensayos - que el contenido de proteína en grano, y su respuesta a la fertilización nitrogenada en emergencia, fueron menores en los ensayos con mayores promedios de REND. A su vez, las variables dependientes para REND y RN mostraron una estrecha correlación positiva en un buen porcentaje de los casos. Esto se fundamenta en la eficiencia fisiológica prácticamente constante de la variedad empleada (Delogu *et al.*, 1998).

La eficiencia fisiológica estimada como la pendiente de la relación entre A_{Ne} (REND) y A_{Ne} (RN) y las correspondientes variables para la aplicación en macollaje arrojó valores de 32,5 y 26,3 kg de grano por kg^{-1} N absorbido, calculados a partir de las variables determinadas en emergencia y macollaje, en ese orden ([Fig. 6.4](#)). Las pendientes no variaron sensiblemente cuando se eliminaron los dos casos con mayores residuales. Cuando se analizaron en conjunto las pendientes de las rectas no difirieron significativamente por época de aplicación. Sin embargo, la tendencia a mayor eficiencia fisiológica en emergencia es atribuible a la mayor disponibilidad inicial de N ya que la fertilización afecta subcomponentes del REND definidos tempranamente (macollos por planta, espigas por m^2).

Resultados similares fueron reportados en investigaciones sobre maíz y trigo para fuentes de N de disponibilidad inmediata en comparación con urea (Ron & Loewy, 2007; Copperi *et al.*, 2013). Por otra parte, la estimación coincide con los valores inferiores medidos por Abeledo *et al.* (2008) para viejos cultivares, en contraste con variedades más modernas cuya eficiencia fue 10 veces superior.

Tabla 6.5 Correlación entre variables dependientes.

	REND			PROT			RN	
	\bar{Y}	A_{Ne}	A_{Nm}	\bar{Y}	A_{Ne}	A_{Nm}	\bar{Y}	A_{Ne}
\bar{Y}	1			1			1	
REND A_{Ne}	-0,33	1		0,18	1		-0,22	1
A_{Nm}	-0,30	0,84	1	0,24	0,90	1	-0,30	0,75
\bar{Y}	-0,38	0,04	-0,08	1			1	
PROT A_{Ne}	-0,46	-0,27	-0,14	0,18	1		-0,01	0,05
A_{Nm}	-0,18	-0,05	0,04	0,24	0,90	1	0,05	0,33
\bar{Y}	0,92	-0,53	-0,47	-0,08	0,05	-0,07	1	
RN A_{Ne}	-0,03	0,71	0,64	-0,31	-0,01	0,05	-0,22	1
A_{Nm}	-0,11	0,55	0,70	-0,12	0,29	0,33	-0,30	0,75

Valores crítico de r para 24 gl. : 39 y 0,50 para p 0,05 y 0,01, respectivamente

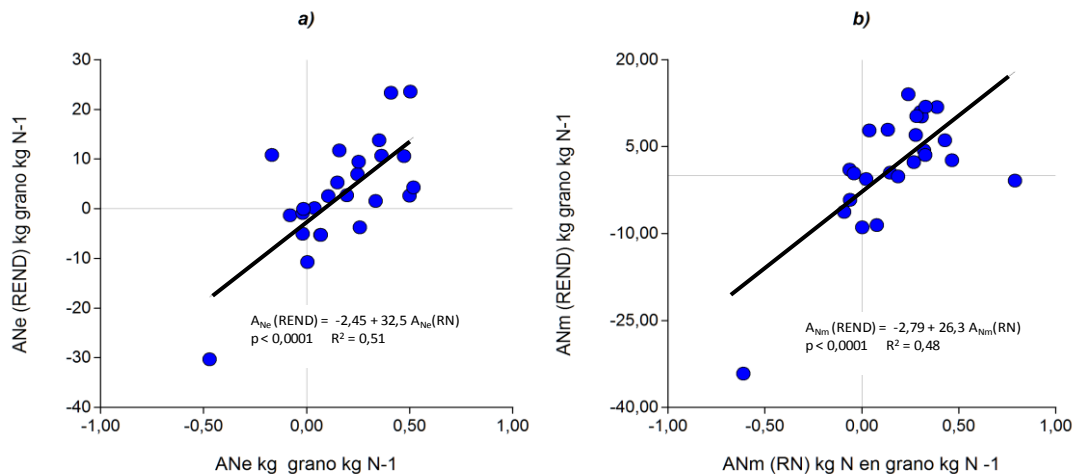


Fig. 6.4 Relación entre variables dependientes para la estimación de eficiencias con fertilización en a) emergencia y b) macollaje.

6.3.4 Relación entre variables dependientes y variables de sitio

6.3.4.1 Calibración del análisis de suelos

A_{Ne} (REND) y A_{Nm} (REND) no correlacionaron significativamente con ninguna de las determinaciones de Ni. Cuando se consideró el Ni a la profundidad de 0-60 cm, los mayores coeficientes de determinación fueron para $N-NO_3^-$ A_{Ne} (-0,28) y A_{Nm} (-0,15) $p > 0,15$. La falta de correlación significativa es atribuible a la existencia de una relación no lineal y/o a datos que pueden ser influyentes. Para las dos variables dependientes el método gráfico y de análisis de varianza de Cate & Nelson (1965 y 1971) coincidieron en un nivel crítico cercano a $122 \text{ kg } N-NO_3^- \text{ ha}^{-1}$, que separaba dos clases con distinta probabilidad de respuesta (Fig. 6.5).

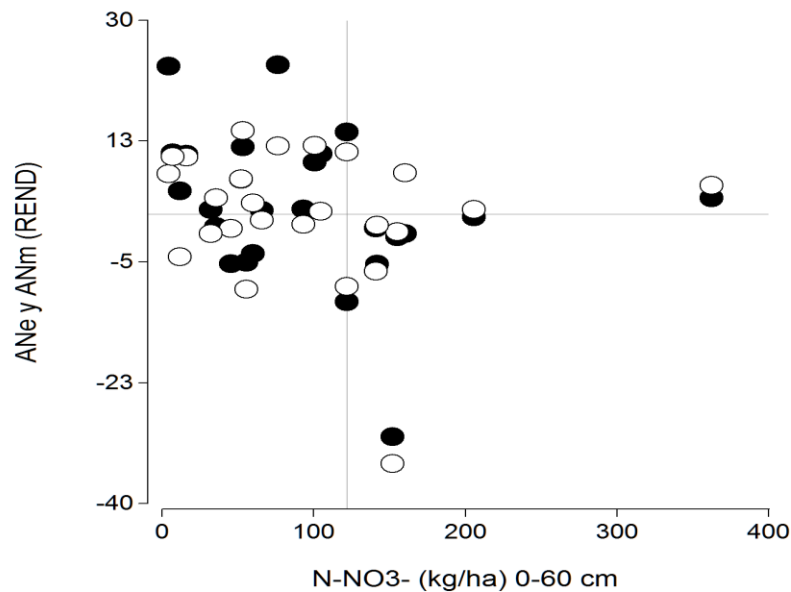


Fig. 6.5 Calibración del análisis de $N-NO_3^-$ inicial mediante el método gráfico de Cate & Nelson. Círculos negros y blancos corresponden a A_{Ne} y A_{Nm} , en ese orden

El método de Nelson & Anderson (1977) confirmó esta separación y para A_{Ne} discriminó una clase adicional de muy baja fertilidad para valores de $N-NO_3^-$ inferiores a 24 kg ha^{-1} . Los niveles encontrados se informan en la [Tabla 6.6](#).

Tabla 6.6 Promedio de A_{Ne} y A_{Nm} (REND) en cebada cervecera según clases de fertilidad de suelos basadas en la calibración de $N-NO_3^-$ inicial.

Clase $N-NO_3^-$ (Nº casos)	$N-NO_3^-$ kg ha ⁻¹	A_{Ne} (REND) kg grano kg N ⁻¹	Clase $N-NO_3^-$ (Nº casos)	$N-NO_3^-$ kg ha ⁻¹	A_{Nm} (REND) kg grano kg N ⁻¹
MUY BAJO (4)	<24	17,9	BAJO - MEDIO (17)	<121,9	8,9
BAJO - MEDIO (13)	24 – 121,9	10,7	ALTO (8)	>121,9	-4,8
ALTO (8)	>121,9	-5,4			
	R ² modelo	0,35		R ² modelo	0,18
	Prob	0,01		Prob	0,03

Las categorías de disponibilidad de N encontradas en [Tabla 6.6](#) son coherentes con la calibración realizada por Landriscini *et al.* (2004b) basada en 13 de los 25 ensayos utilizados en este capítulo. No se reiteró, en el presente análisis, el uso del rendimiento relativo como variable de la respuesta por la aplicación práctica más directa de A_{Ne} y A_{Nm} (REND), entre otras consideraciones (Ron & Loewy, 1990; Álvarez, 2008).

6.3.4.2. Modelos generales de fertilidad

El juego de ecuaciones que constituye el modelo general de fertilidad se muestra en [Tabla 6.7](#). El \bar{Y} (REND) se relacionó con la materia orgánica y con la variable categórica para el año 1999, que indica rendimiento menor en una tonelada, en promedio, en los ensayos llevados cabo ese año. El coeficiente para la MO es similar al obtenido en el capítulo anterior. En las ecuaciones para A_{Ne} y A_{Nm} (REND) la mejor explicación de la respuesta se logró con variables categóricas definidas a partir de la calibración de [Tabla 6.6](#). Se evidenciaron, además, las menores respuestas del año 2001, atribuibles a problemas relacionados con el exceso de lluvia (Aguinaga, 2004).

La ecuación correspondiente al promedio de PROT en los ensayos asigna un valor de general 12,85% y separa dos grupos en que la media este fue significativamente menor: suelos arenosos y año 2000, que fue el de mayores rendimientos en su conjunto (Lázzari *et al.*, 2007). En las ecuaciones para A_{Ne} y A_{Nm} (PROT) se seleccionó la variable categórica

correspondiente al año 99 (menor REND, mayor respuesta en PROT), la de suelos arenosos y una variable continua (Nii 0-60).

Para los coeficientes de curvatura B_{Ne} , B_{Nm} y $B_{Ne} N_m$ no se obtuvieron regresiones significativas por lo que se les asignó el valor promedio para REND y PROT. Tampoco se pudieron ajustar ecuaciones significativas o con coeficientes de determinación superiores a 0,30 para las variables dependientes basadas en el RN. A pesar de la estrecha relación de esta variable del cultivo con REND, la frecuente asociación negativa intrasitio entre REND y PROT (conjugadas en RN) impediría lograr buenos modelos.

La influencia de las condiciones particulares de cada campaña ha sido también reportada para cebada cervecera por varios autores (Ross *et al.*, 2011; Ferraris *et al.*, 2012; Canal, 2012). Esta evidencia indiscutible ha dado lugar a la búsqueda de variables climáticas que resuman las características de las campañas. Distintos autores han utilizado precipitaciones y temperatura para explicar la respuesta a nitrógeno (Loewy & Ron, 1995; Aguinaga, 2004). Sin embargo existe la desventaja de que no se pueden incorporar en modelos predictivos. En todo caso, la agricultura de secano se justifica en la expectativa de condiciones climáticas favorables. Esto conduce a la simplificación de las variables como las utilizadas en la [Tabla 6.7](#).

En la [Fig. 6.6](#) se muestran las curvas de incremento por fertilización en años promedio y suelos no arenosos con N- NO_3^- 0-60 cm menor a 24 kg ha⁻¹ (aplicación en emergencia) y N- NO_3^- 0-60 cm entre 24 y 121,9 kg ha⁻¹ (emergencia y macollaje). Para disponibilidad muy baja se estima una respuesta promedio muy superior al grupo siguiente. En este, las curvas se superponen para las dos épocas de fertilización y maximizan a dosis cercanas a los 60 kg N ha⁻¹. Tomando la relación de precios utilizada en el Capítulo 4 (9 kg grano kg N⁻¹) el óptimo económico sería de 30 kg N ha⁻¹ para cualquiera de las dos épocas. Asumiendo un Nii de 80 kg ha⁻¹, el incremento predicho para PROT a esa dosis se estimaría en 0,50 y 0,75 puntos de porcentaje que se sumarían a un contenido promedio del cultivo sin fertilizar de 12,5% y 12,3 % para emergencia y macollaje, en ese orden. Esto indica que, en años promedio, la

fertilización particularmente en macollaje - aun en dosis bajas -comprometería la calidad del grano

Tabla 6.7. Modelos de fertilidad para las variables dependientes

a) RENDIMIENTO

variable – ecuación	R ²	R ² aj	p valor
$\bar{Y} = 2205 + 46,7 \text{ MO} - 1028 \text{ año}99$	0,419	0,367	0,0025
$A_{Ne} = - 2,45 + 16,90 \text{ MUYBAJO} + 9,01 \text{ BAJO-MEDIO} - 7,81 \text{ año}01$	0,438	0,357	0,0062
$A_{Nm} = 6,43 - 9,36 \text{ año}01 - 7,02 \text{ ALTO}$	0,344	0,285	0,0096
$B_{Ne} = -0,174$			
$B_{Nm} = -0,169$			
$B_{Ne Nm} = -0,195$			

b) PROTEINA

variable – ecuación	R ²	R ² aj	p valor
$\bar{Y} = 12,85 - 2,26 \text{ arenosos} - 1,29 \text{ año}00$	0,516	0,472	0,0003
$A_{Ne} = 0,021 + 0,020 \text{ año}99 - 0,020 \text{ arenosos} - 0,000053 \text{ Nii } 0-60$	0,312	0,282	0,0036
$A_{Nm} = 0,032 + 0,019 \text{ año}99 - 0,035 \text{ arenosos} - 0,000083 \text{ Nii } 0-60$	0,525	0,457	0,0012
$B_{Ne} = 0,000$			
$B_{Nm} = 0,000$			
$B_{Ne Nm} = 0,000$			

MUY BAJO: N- NO₃⁻ 0-60- < 24 kg ha⁻¹; BAJO – MEDIO N- NO₃⁻ (0-60): 24 – 122 kg ha⁻¹; ALTO N- NO₃⁻ 0-60- > 121,9 kg ha⁻¹; arenosos; año 99; año00; variable categóricas: 0 no corresponde; 1: corresponde; Nii0-60: N inorgánico inicial kg ha⁻¹.

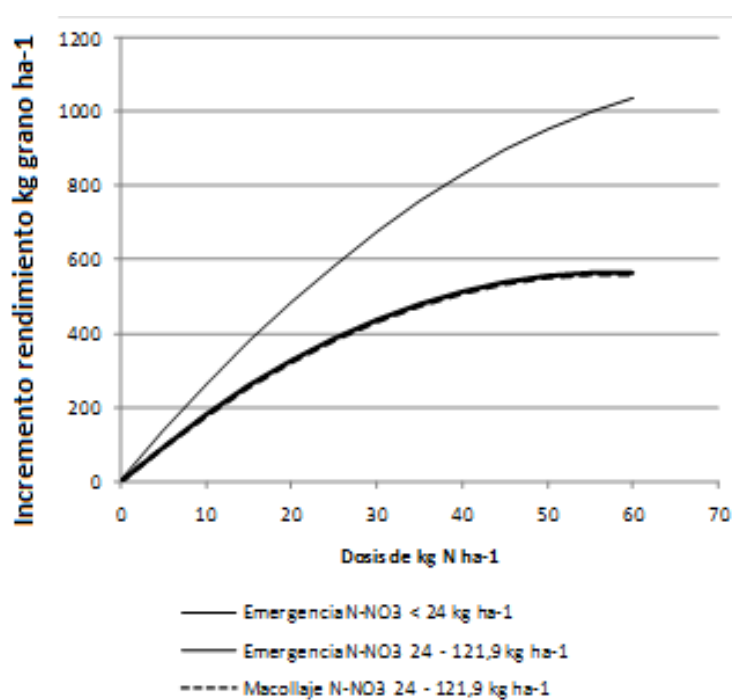


Fig. 6.6. Respuesta predicha en suelos con distinta disponibilidad de N

6.4 CONCLUSIONES

Los modelos desarrollados cuantifican la respuesta al N en dos épocas de aplicación. En años climáticamente favorables es posible obtener mayores respuestas en rendimiento con la aplicación en emergencia, que tiene una menor influencia sobre la proteína. La aplicación de macollaje tiende a expresar un efecto inverso.

Con la relación histórica de precios y el presente estándar de comercialización las dosis mayores de 30 kg ha⁻¹ solo serían rentables en años climáticamente muy favorables y/o para suelos arenosos.

Por consiguiente los resultados confirman que el fraccionamiento (tentativo) es recomendable. Más allá de la interacción positiva entre las dos aplicaciones, encontrada en algunos ensayos, la práctica constituye una forma de atenuar los riesgos totales de la fertilización y mejorar la calidad final del producto.

Los modelos desarrollados no son extrapolables para variedades más modernas dado el mayor potencial de rendimiento basado en una mayor eficiencia fisiológica, que las caracteriza. Sin embargo, varios aspectos de los modelos serían independientes del material genético utilizado. Estos son a) la selección de variables relacionadas con las condiciones ambientales durante la campaña (edáficas susceptibles de modificarse en el corto plazo y climáticas), por sobre las variables de zonificación en áreas con similares potencialidades y limitaciones para los cultivos b) la materia orgánica del suelo como indicador de productividad, c) la menor fertilidad de los suelos arenosos y d) las relaciones entre variables del rendimiento, de la proteína y del rendimiento de N.

6.5 BIBLIOGRAFIA

- Abeledo, LG; DF Calderini & DF Salfer. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Crops Research* 106: 171–178.
- Aguinaga, A. 2004. “Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera” Tesis de Magíster. UNS.

- Álvarez, R & H Steinbach. 2012. Asociación entre el nitrógeno del suelo y el rendimiento de los cultivos. En Álvarez et al (EDS.) Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Capítulo 5 pags.245-258. Editorial de la Facultad de Agronomía. UBA.
- Alvarez, R. 2008. Analysis of yield response variability to nitrogen fertilization in experiments performed in the Argentine Pampas. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 39: 1235-1244.
- Álvarez, R & RS Lavado. 1998 Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83 127–141.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR.Sainz Rozas. 2001. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21: 18-23.
- Birch, CJ & KE Long. 1990. Effect of nitrogen on the growth, yield and grain protein content of barley (*Hordeum vulgare*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30(2): 237 – 242.
- Bono, A & R Álvarez 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. *Informaciones Agronómicas* 33: 25-26.
- Borghi, B. 1999. Wheat production in Mediterranean environments. In *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*, pp.295-323. Eds Satorre E.H. and Slafer, G.A., New York.
- Boschetti, G; C Quintero; M Diaz-Zorita & M Barraco. 2003. Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 17: 6-9.
- Canal, G. 2012. Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos ambientes. Trabajo final para acceder al título de Especialista en Cultivos de Granos, Escuela para Graduados, FAUBA. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2012canalgustavojose.pdf>.

Fecha de último acceso: Noviembre 2014.

- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp.91-98 en: Marbán, L y SE Ratto (eds.) Tecnologías en análisis de suelos. Alcance a Laboratorios Agropecuarios, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 215 pp.
- Cate, RB. Jr. & LA Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. North Carolina Agric. Exp. Stn., International soil Testing Series Bull. No. 1.
- Cate, RB & LA Nelson. 1971. A Simple Statistical Procedure for Partitioning Soil Test Correlation Data Into Two Classes. Soil Scienc Society of America Journal 35: 658-660.
- Colwell, JD. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. Oxon (UK): CAB International. Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen—inorganic forms.. In ‘Methods of soil analysis: Part 3’ (Ed. D.L. Sparks) pp.1123–1184. (SSSA, Madison, WI).
- Copperi, MZ; M. E. Mandolesi, MA Cantamutto & MM Ron. 2013. Comparative effectiveness of two nitrogen sources for corn fertilization. *Phyton* 82:99-106
- Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pecchioni, D. De Falcis, T. Maggiore & A.M. Stanca (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.
- Curtin, D; CA Campbell & A Jalil. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. *Soil Biol. Biochem.* 30 : 57-64.
- Delogu, G; L Cattivelli; N Pecchioni; D De Falcis; T Maggiore & AM Stanca, 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. En *Fertilizer Best Management Practices. General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations. Papers presented at the IFA International*

- Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007, Brussels, Belgium First edition, IFA, Paris, France, August 2007.
- Dreccer, MF; RA Ruiz; GA Maddonni & EH Satorre. 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. En Satorre, E.H et al. (Eds.) Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Pp 482-495. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Echagüe, M.; MR Landriscini; S Venanzi; MA Lázzari. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 10: 5-8.
- Farooq, M ; H Brasmley ; JA Palta & KHM Siddique. 2011. Heat Stress in Wheat during Reproductive and Grain-Filling Phases. Critical Reviews in Plant Sciences, 30: 1-17.
- Ferraris, GN; F Mousegne; M Barraco; L Couretot; J Cavo; R Falconi; O Ferraris; E Lemos; M Lopez De Sabando; G Magnone; A. Maertín; P Melilli; A Paganini; G Perez; R. Pontoni; J Zanettini; C Scianca; R Sola, MG Telleria, & L Ventimiglia. 2012. Rendimiento y eficiencia comparativa de uso de fósforo, nitrógeno y agua en trigo y cebada cervecera en la región centro y noroeste de Buenos Aires. Área de Desarrollo Rural. INTA Proyecto Regional Agrícola, CRBAN. 12 p.
- Gregorich, EG & HH. Janzen, 1998 “Microbially mediated processes: decomposition,” in Handbook of Soil Science, M. Summer, Ed., pp. 106–119, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 1998.
- Jáuregui, MA & GE Sain. 1992 Continuous economic analysis of crop response to fertilizer in on-farm research. CIMMYT Economics Paper N° 3, Mexico, D.F.: CYMMIT. 103 p.
- Landriscini, MR; L Suñer; A Rausch; A Lázzari & MM Policano. 2004a. Eficiencia del nitrógeno aplicado en dos momentos de ciclo de la cebada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos. Resúmenes 173. Actas en CD Rom.
- Landriscini, MR; LG Suñer; A Lázzari & A Rausch. 2004b. Respuesta de la cebada cervecera a la aplicación de N. INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 22: 15-18.

- Lázzari, MA; MR Landriscini & ME Echagüe. 2007. Uptake of nitrogen by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 38(3-4): 371-388.
- Loewy, T & MM Ron. 2008 Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa. La Pampa.. 2 al 4 de julio de 2008. Actas en CD Rom.
- Loewy, T & MM Ron. 1998. Fósforo y nitrógeno en cebada cervecera. *Fertilizar* N° 11. Julio de 1998. ISSN 166-8812.
- Loewy, T & MM. Ron. 1995. Nitrogen fertilization recommendations for wheat in southwestern Buenos Aires (Argentina). *Commun. in Soil Science and Plant Analysis* 26: 2041-2050.
- Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen – Inorganic forms. p. 1123-1184. *In* D. L. Sparks et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical properties. SSSA Book Ser. 5.* Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Nelson, LA & RL Anderson. 1977. Partitioning of Soil Test—Crop Response Probability. *En: Soil testing correlating and interpreting the analytical results. ASA Special publication* 29: 19-38.
- Ron, MM & T Loewy 2007. Comparative effectiveness of urea and calcium ammonium nitrate for wheat fertilization in southwestern Buenos Aires Argentina. *In: Buck, H.T., Nisi J.E. & Salomón N. (eds), pp. 189-195 Wheat Production in Stressed Environments. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November -2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Springer. 794 p.*
- Ron, MM & T Loewy. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 18: 44-49.
- Ron, MM & T Loewy. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el S.O. bonaerense. I. Modelos de la respuesta. *Ciencia del Suelo* 8: 187-194.

Ross, F; J Massigoge & M Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. IPNI, Informaciones Agronómicas N 2, Septiembre de 2011: 9-13.

Stark, JM & MK Firestone. 1995 Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 218–221.

ANEXO

I) Publicaciones derivadas de la red de ensayos de fertilización nitrogenada en Cebada

Cervecera

1) Revistas con referato

- Lázari, M.A., Landriscini, M.R., Cantamutto, M.A., Miglierina, A.M., Echagüe, M.E. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. Ci. Suelo 19(2): 101-108.
- Lázari, M.A., Landriscini, M.R. y Echagüe, M.E. 2005. Patrones de distribución del nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. Ci. Suelo 23(1): 69-77.
- Lázari, M.A., Landriscini, M.R. y Echagüe, M.E. 2007. Uptake of nitrogen by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. Communication in Soil Sc. and Plant Analysis 38 (3-4): 371-388.
- Landriscini, MR; MA Lázari & JA Galantini. 2010. Fertilización nitrogenada y balance de nutrientes en cebada cervecera. Ci. Suelo 28 (2): 201-214.

2) Capítulos de libro:

- Landriscini M.R. y Lázari M.A. 2006. Micronutrientes del SO Bonaerense y Cereales de Invierno. Segunda Parte: cebada cervecera. Pp 157-165. En: Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera. Dra. Mabel Vázquez (Editora). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.
- Lázari M.A., Echagüe M.E. y Landriscini M.R. 2007. Dinámica de Nitrógeno en el suelo y producción de cebada cervecera en la Provincia de Buenos Aires. Pp. 69-74. En: Isótopos Estables en Agroecosistemas. Lázari y Videla (Editoras), Landriscini M.R. compiladora. EdiUNS. Bahía Blanca.

3) Presentaciones a Congresos

- Landriscini M.R., Lázari M.A., Cantamutto M.A. y Bergh R.G. 2000. Fertilización nitrogenada y disponibilidad de nitrógeno en cebada cervecera. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes, Comisión III, Panel N° 32. Trabajo en CD ROM.
- Lázari A., Miglierina A.M., Mockel F. y Rosell R. 2000. Dinámica y removilización del nitrógeno del fertilizante en cebada cervecera. XVII Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata. Libro de Resúmenes: Comisión III, Panel N°33. Trabajo completo en CD-Rom.
- Suñer L.G., Landriscini M.R. y Lázari M.A. 2000. Respuesta a la fertilización nitrogenada en cebada cervecera. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes, Comisión III, Panel N° 67. Trabajo en CD ROM.

- Echagüe M., Landriscini M.R., Lazzari M.A. y Aguinaga A. 2001. Cebada cervecera. 1. Fertilización en la provincia de Buenos Aires. V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Resúmenes Mesa de Cereales de siembra otoño-invernal y CD ROM.
- Echagüe M., Lazzari M.A., Landriscini M.R., y Rosell R.A. 2001. Cebada cervecera. 2. Absorción de N aplicado como urea. V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Resúmenes Mesa de Cereales de siembra otoño-invernal y CD ROM.
- Landriscini M.R., Suñer L.G., Lazzari M.A. y Rosell R.A. 2002. Cebada Cervecera: 1. Análisis de rendimiento y proteína. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 57 y CD ROM.
- Iglesias J.O., Galantini J.A., Lazzari M.A. y Landriscini M.R. 2002. Cebada Cervecera: 2. Disponibilidad hídrica y eficiencia en la producción. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 19 y CD ROM.
- Landriscini M.R., Suñer L.G., Lazzari M.A. y Rosell R.A. 2002. Cebada Cervecera: 1. Análisis de rendimiento y proteína. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 57 y CD ROM.
- Iglesias J.O., Galantini J.A., Lazzari M.A. y Landriscini M.R. 2002. Cebada Cervecera: 2. Disponibilidad hídrica y eficiencia en la producción. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 19 y CD ROM.
- Landriscini M.R., Galantini J.A. y Rosell R.A. 2002. Azufre foliar en el sur bonaerense: dinámica en el cultivo y método DRIS. Jornada Nacional de Azufre. AACCS, Fertilizar-INTA. 5 pp.
- Galantini J.A., Landriscini M.R. y Fernández R. 2002. Azufre en suelos del sur bonaerense: disponibilidad y su relación con las fracciones orgánicas. Jornada Nacional de Azufre. AACCS, Fertilizar-INTA.
- Landriscini M.R., Suñer L., Rausch A., Lazzari M.A. y Policano M.M. 2004. Eficiencia del nitrógeno aplicado en dos momentos del ciclo de la cebada cervecera. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 173 y Trabajo Completo en CD ROM.
- Lazzari M.A., Landriscini M.R., Echagüe M. y Rosell R.A. 2004. Cebada cervecera. Crecimiento y absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 179- y Trabajo Completo en CD-Rom.
- Iglesias J.O., Galantini J.A., Landriscini M.R. y Lazzari M.A. 2004. Disponibilidad hídrica en el uso del agua en el cultivo de cebada cervecera. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 69 y Trabajo Completo en CD ROM.
- Aguinaga A., Möckel F., Lazzari M.A. y Landriscini M.R. 2004. Variables ambientales relacionadas con los parámetros de calidad comercial de cebada cervecera. Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal, Sesión Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, pág. 331 y Trabajo Completo en CD ROM.
- Iglesias J.O., Galantini J.A., Landriscini M.R. y Lazzari M.A. 2004. Relación entre la eficiencia de uso del agua y la productividad de cebada cervecera. Actas VI Congreso Nacional de

Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal, Sesión Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, pág. 359 y Trabajo Completo en CD ROM.

- Landriscini M.R., Suñer L.G. y Lázari M.A. 2004. Aplicación de urea en dos momentos alternativos del ciclo de la cebada cervecera. Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal, Sesión Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, pág. 363 y Trabajo Completo en CD ROM.
- Lázari M.A., Landriscini M.R. y Echagüe M. 2004. Eficiencia de utilización del nitrógeno del fertilizante y productividad de la cebada cervecera. Actas VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal, Sesión Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, pág. 365 y Trabajo Completo en CD ROM.
- López, O., Lázari, A. y Rodríguez, M.S. 2004. Cuantificación y caracterización fisicoquímica del almidón de cebada cervecera: influencia de las condiciones de cultivo. Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, 24-26/10. Resúmenes 25.
- Landriscini M.R. y Lázari M.A. 2005. Micronutrientes en suelos y granos de cebada cervecera. Primera Jornada Nacional de Micronutrientes. Trabajo Completo en Actas y CD ROM.
- Landriscini María Rosa y Galantini Juan A. 2005. Fertilización foliar en trigo. Jornada de productores regional AAPRESID. Exposición Oral.
- Landriscini M.R., Galantini J.A. y Fernández R. 2005. Fertilización con N y S en trigo con distinto antecesor. Efecto sobre la nutrición, el rendimiento y la calidad. X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile. Poster N° 29. Resúmenes pág. 136.
- Lázari M.A., Echagüe M. y Landriscini M.R. 2006. Dinámica de Nitrógeno en el suelo y producción de cebada cervecera en la Provincia de Buenos Aires. Primeras Jornadas Argentinas Sobre El Empleo de Isótopos Estables en Agroecosistemas. Trabajo completo en CD Rom.
- Landriscini M.R., Lázari M.A. y Galantini J.A. 2006. Aplicación de la metodología DRIS en el diagnóstico nutricional de cebada cervecera. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la Región Andina. Resúmenes pág. 245 y Trabajo Completo en CD Rom.
- Landriscini M.R., Suñer L. y Lázari M.A. 2006. Uso eficiente del nitrógeno en cebada cervecera. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la Región Andina. Resúmenes pág. 343 y Trabajo Completo en CD Rom.
- Landriscini M.R. y Lázari M.A. 2008. Remoción de micronutrientes por el cultivo de cebada cervecera en diferentes suelos de la provincia de Buenos Aires. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes pág. 116. Trabajo Completo en CD Rom.
- Landriscini, M.R. y Galantini J.A. 2013. Aplicación foliar de micronutrientes en cebada cervecera (*Hordum vulgare* L.) (Panel). IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Trabajo Completo en CD Rom.

4) Trabajos de Divulgación

- Echagüe M., Landriscini M.R., Venanzi S. y Lázari M.A. 2001. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera. INPOFOS, Informaciones Agronómicas del Cono Sur, Número 10: 5-8.

Rausch A., Lázzari A. y Landriscini M.R. 2003. Cebada cervecera. Disponibilidad de N en el suelo y su influencia en el rendimiento de este cultivo con buena calidad maltera. Revista Fertilizar N° 32: 13-17.

Landriscini M.R., Suñer L.G., Lázzari M.A. y Rausch A. 2004. Respuesta de la cebada cervecera a la aplicación de N. INPOFOS, Informaciones Agronómicas del Cono Sur, Número 22: 15-18.

5) Tesis derivadas de los ensayos de fertilización en Cebada cervecera

Echagüe, M. 2004. Absorción de ^{15}N urea aplicada a suelos cultivados con cebada cervecera. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, UNS.

Aguinaga, A. 2004. Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera. Tesis de Magister, UNS.

López, O. 2006. Cuantificación y caracterización fisicoquímica de almidón de cebada cervecera; influencia de las condiciones de cultivo. Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNS.

II)- Criterios para la elección y cantidad de ensayos utilizados en cada capítulo

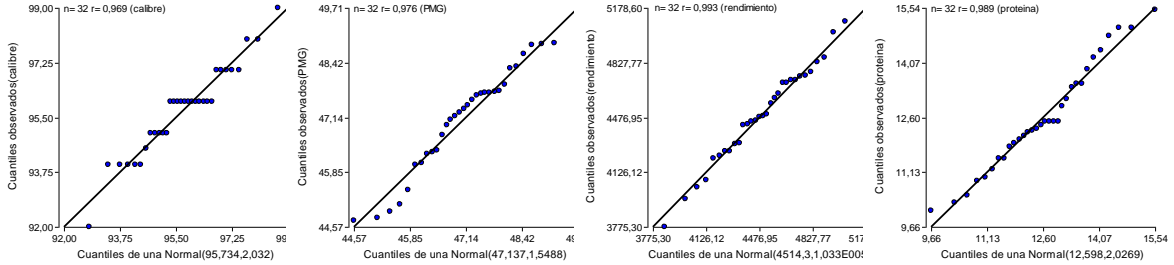
El número de ensayos utilizados en los 3 últimos capítulos respondió a la integridad de los datos para las variables del cultivo y de sitio ver Tabla siguiente.

Como estrategia para simplificar el desarrollo de las regresiones entre las variables del cultivo y las de sitio no se incluyó en el Capítulo 5 el N disponible como variable edáfica. La importancia de esta variable se resalta en el Capítulo siguiente en que se pudo calibrar el análisis de suelo con base a mayor número de datos.

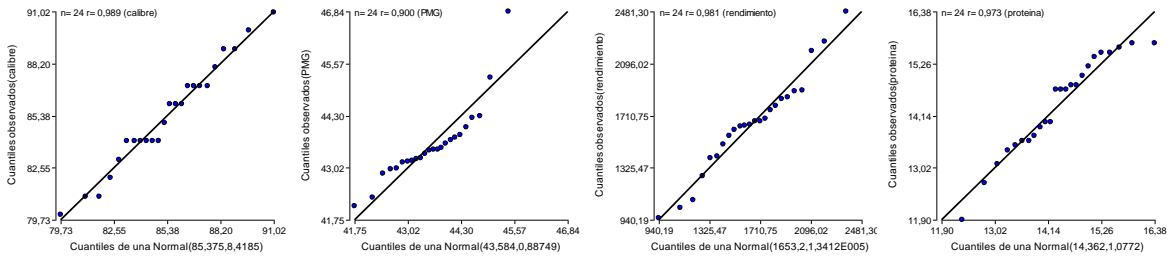
Capítulo	Ensayos	Años	Tratamientos	Observaciones
1	Introducción			
2 y 3	28	1999 a 2002	Todos	
4	27	1999 a 2002	Todos	Sin datos de proteína y calibre para BORD 02
5	20	1999 a 2001	0, 30e, 60e, 90e y 120e kg N ha ⁻¹	Falta CMQ tardía
6	25	1999 a 2002	0, 30e, 60e, 30m, 60m y 30e-30m	BORD 01 Sin dato para 60m CMQ tardía 01 y CMQ02, sin datos de N disponible

III) - GRAFICOS QQPLOT para los años 1999, 2000, 2001 y 2002

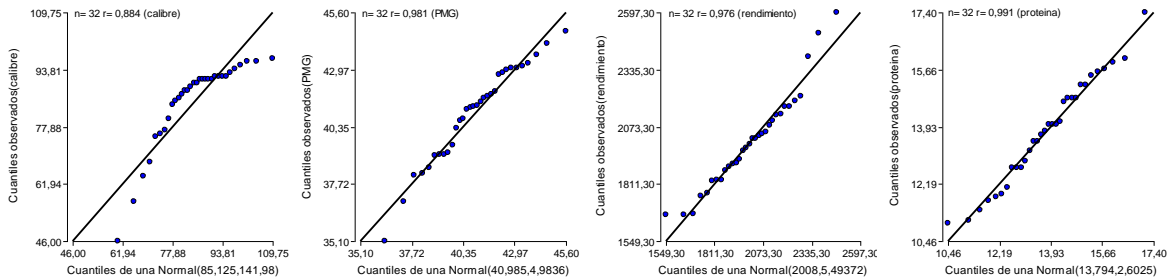
Coronel Suarez 99



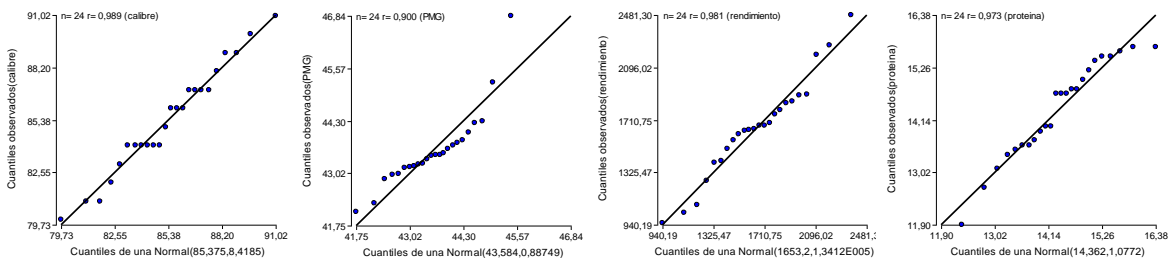
Uruguay 99



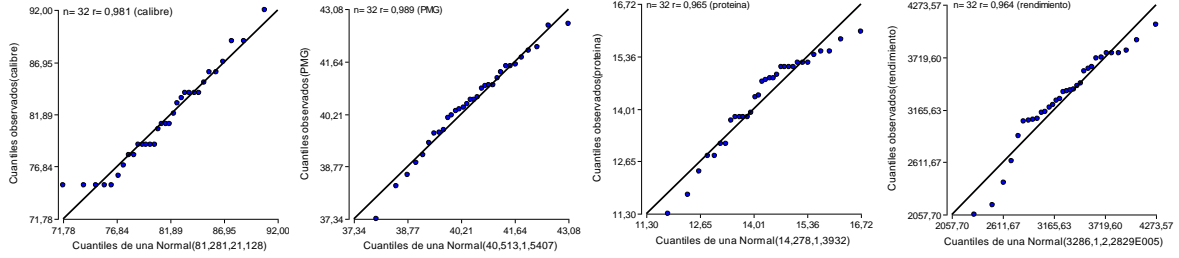
Tres Arroyos 99



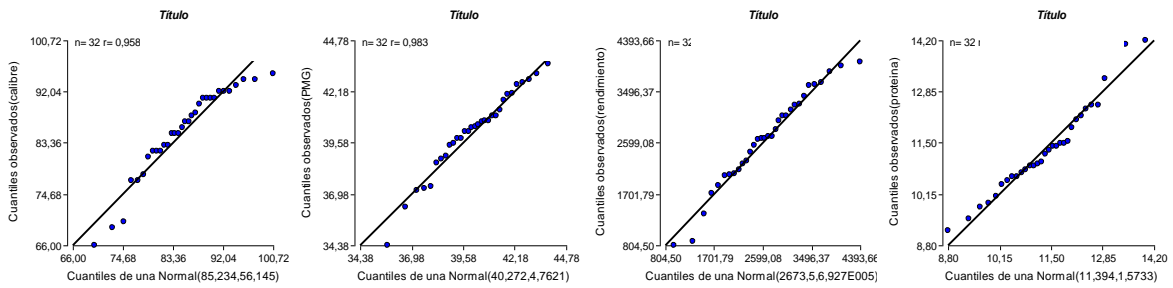
Azul 99



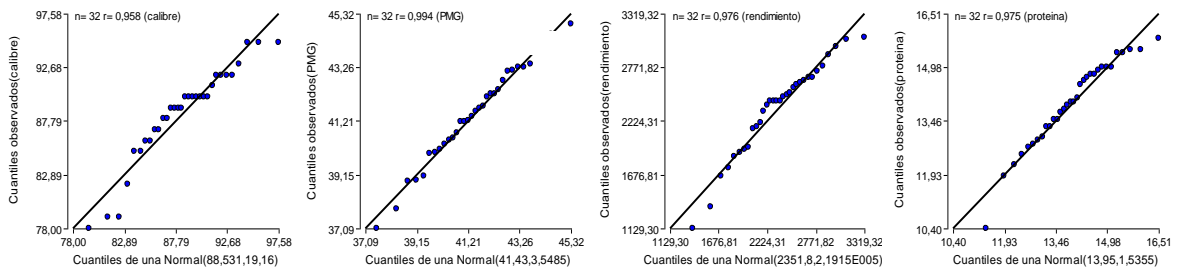
Alberti 99



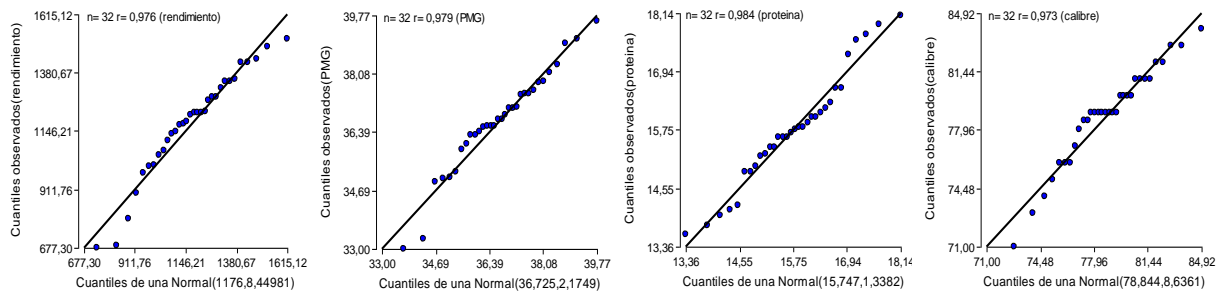
San Mayol 99



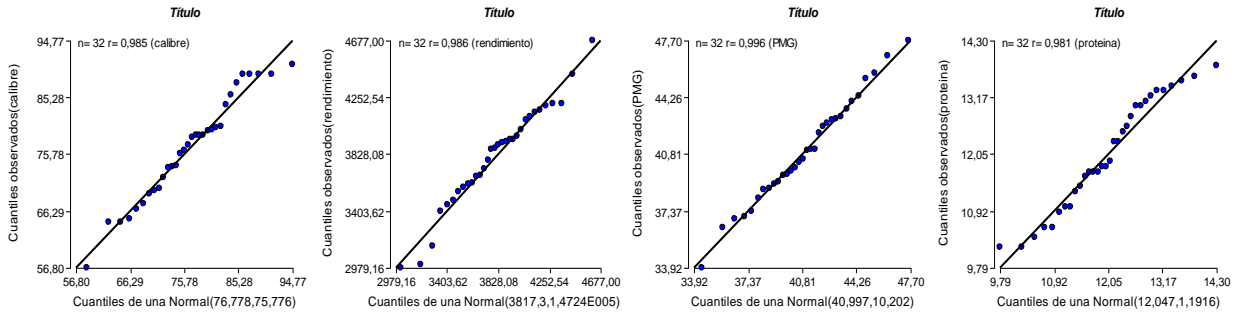
Piguè 99



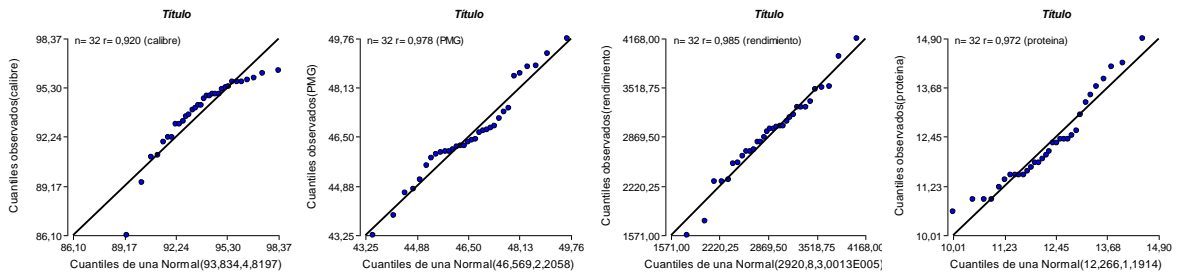
Bordenave 99



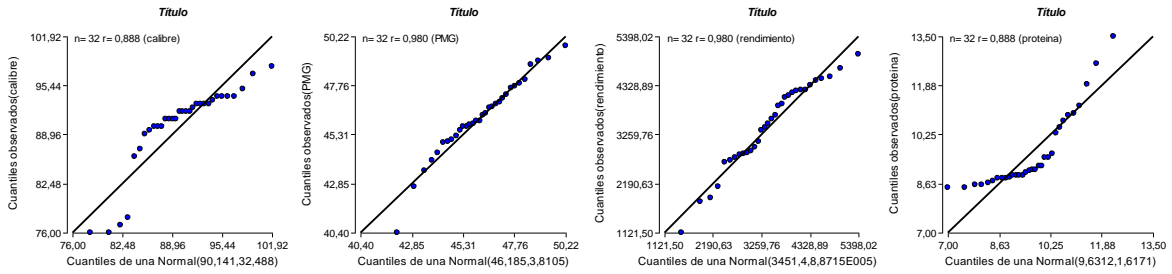
Tres Arroyos 00



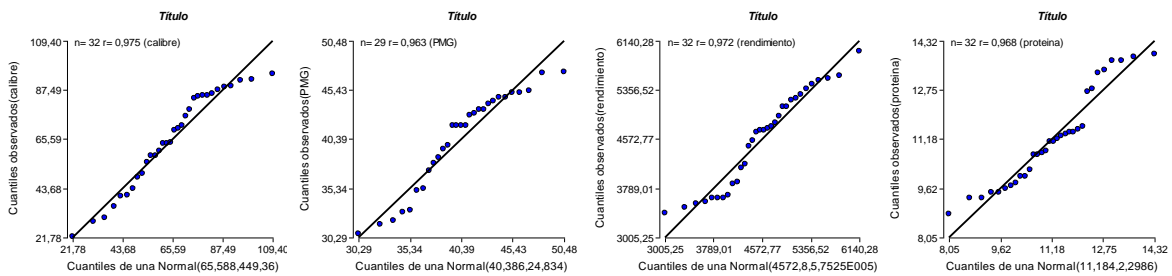
Pigue 00



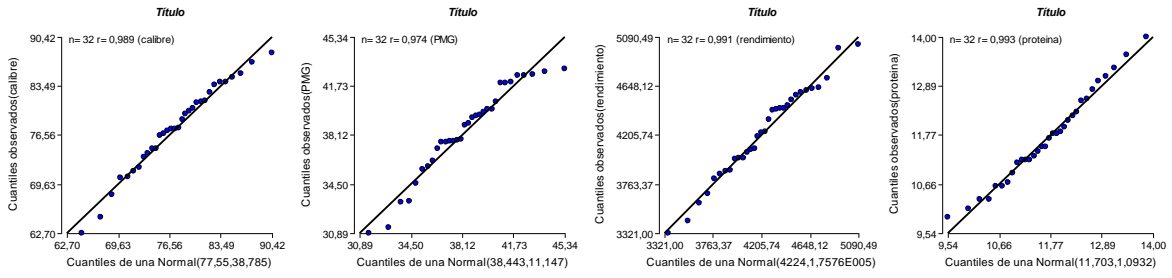
Bordenave 00



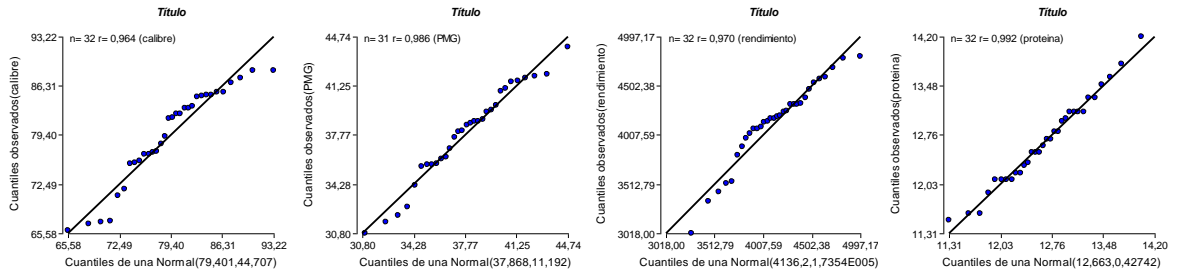
Puan 00



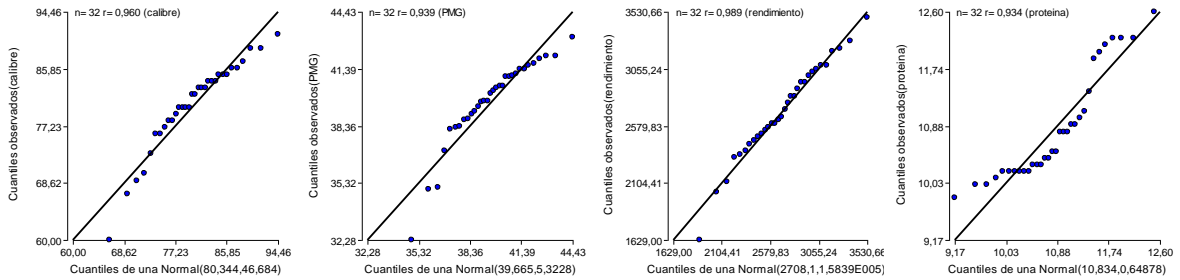
Cascallares 00



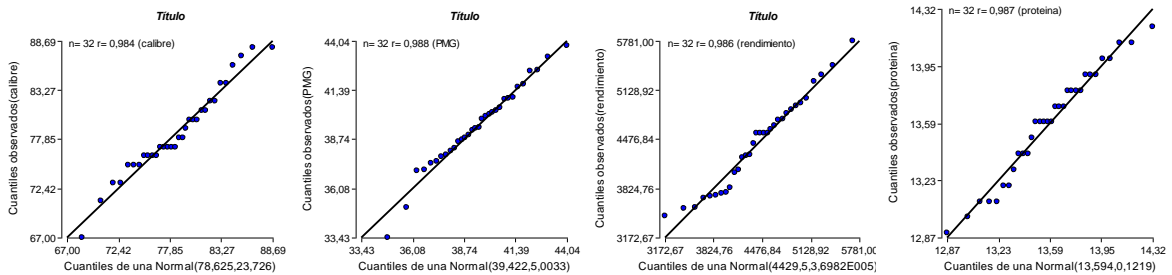
Alberti 00



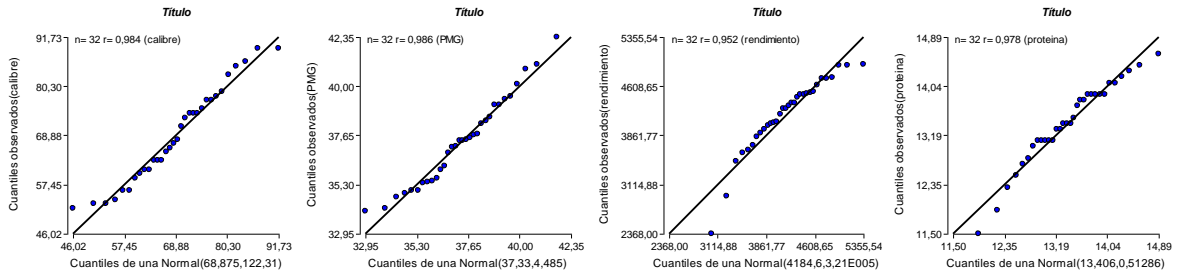
San Miguel 01



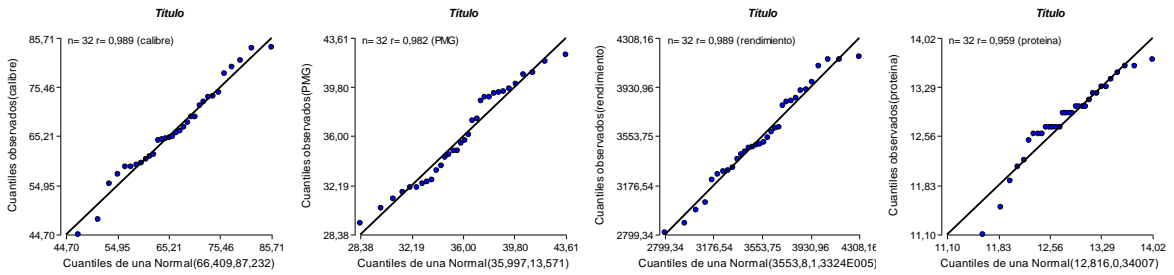
La Dulce TA 01



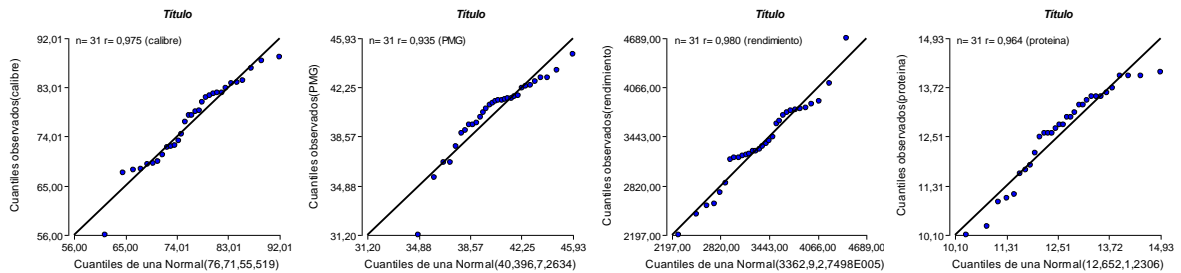
La Dulce TE 01



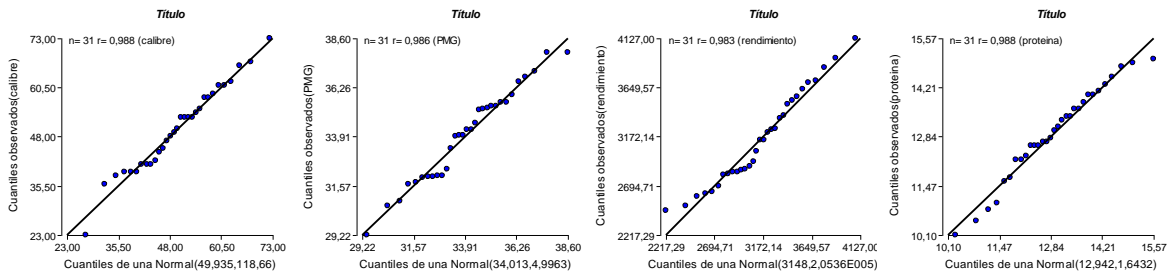
La Constanca 01



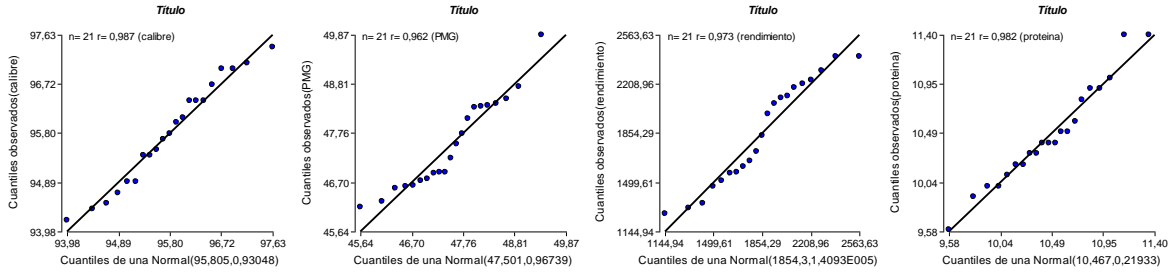
CMQ TA 01



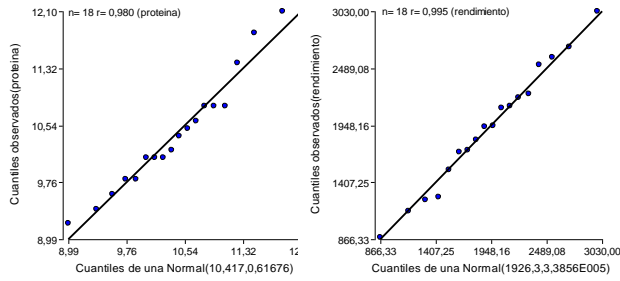
CMQ TE 01



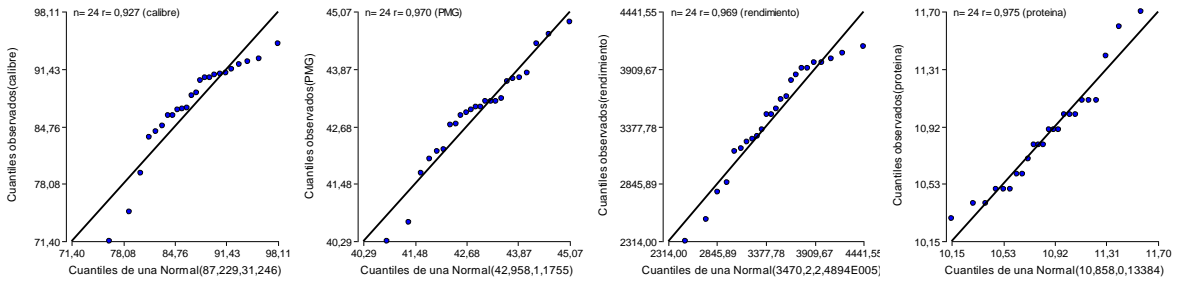
Bordenave 01



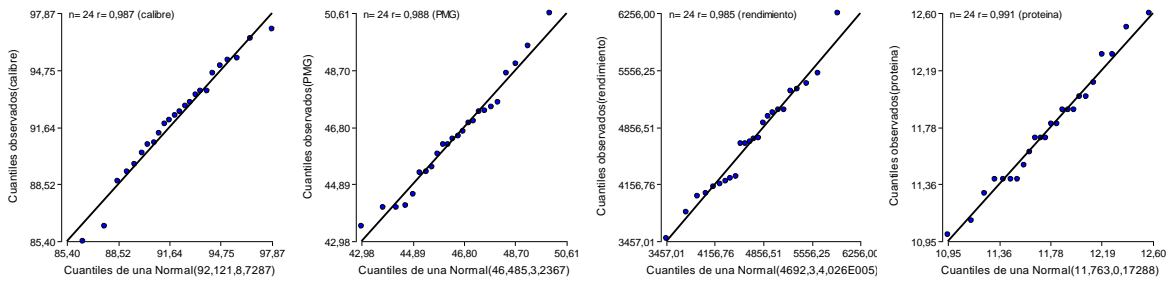
Bordenave 02



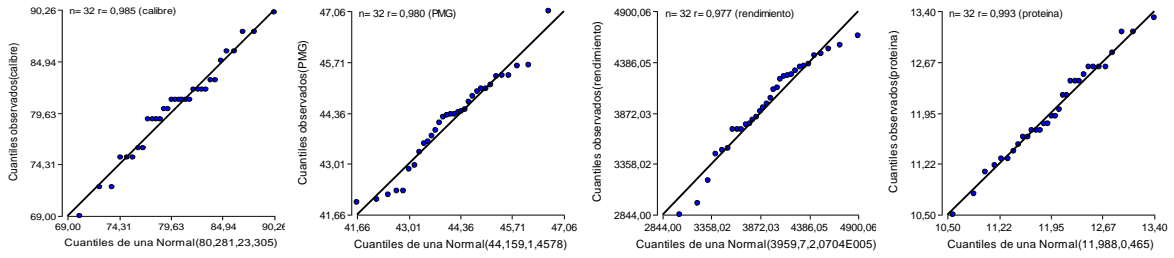
Puán 02



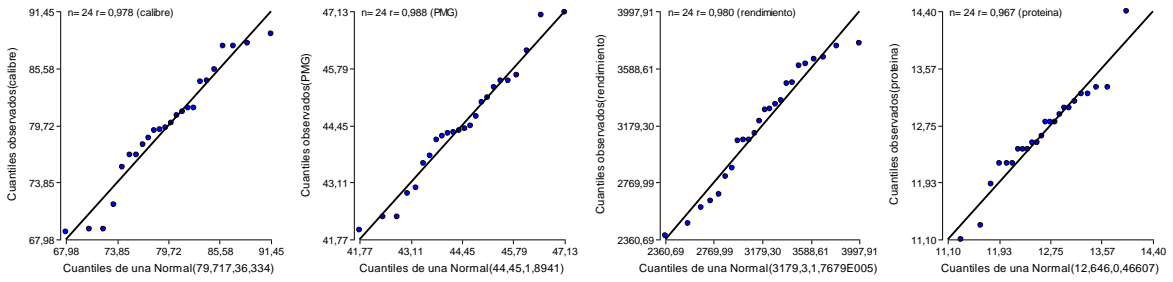
La Dulce 02



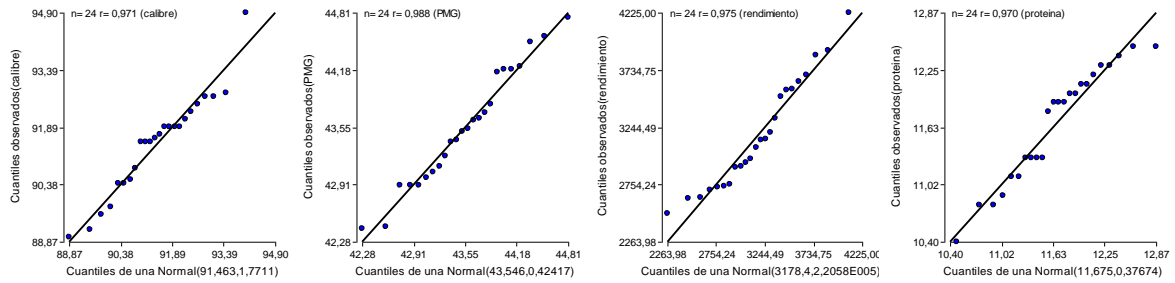
La Constancia 02



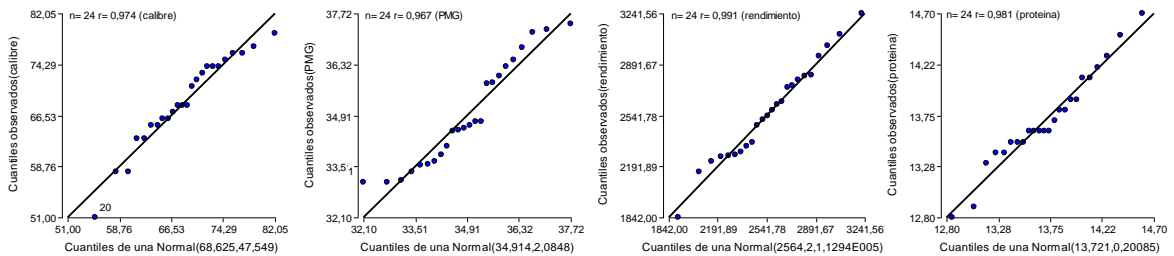
CMQ 02



Cabildo 02



Alberti 02



IV- Coeficientes de la ec. 6.1 para los 25 ensayos y 3 variables del cultivo

a) Rendimiento

Sitio	n	const	Ne	Ne ²	Nm	Nm ²	Ne*Nm	Lb	Qb	Cb	p-valor modelo	R ²	R ² Aj
ALB99	24	3734	2,48	-0,22	-17,95	0,20	-0,07	-44,67	134	13,90	0,0485	0,59	0,37
AZUL99	17	4386	11,87	-0,11	19,97	-0,24	-0,22	370	-287	-	0,0545	0,71	0,49
BORD99	24	783	12,81	-0,09	16,10	-0,15	-0,05	6,09	-25,68	-23,87	0,0003	0,81	0,71
PIG99	24	2173	4,56	-0,02	8,23	-0,01	-0,17	108	-115	45,94	0,3180	0,41	0,09
SMAY99	24	1386	39,00	-0,13	29,40	-0,17	-0,42	-2,93	-54,64	-59,21	0,0233	0,63	0,44
CSUA99	24	4250	20,54	-0,25	4,33	0,01	-0,22	-100	20,28	9,97	0,0092	0,69	0,52
TSAS99	24	1787	9,92	-0,13	17,73	-0,18	-0,41	16,10	69,89	11,95	0,0531	0,58	0,36
URU99	18	1604	-8,26	0,16	-4,07	0,03	0,67	200	-70,02	-	0,0239	0,74	0,55
ALB00	23	3585	1,27	0,18	25,70	-0,28	-0,02	49,17	39,93	18,36	0,0132	0,69	0,51
BORD00	24	1865	65,90	-0,54	51,39	-0,56	-0,67	78,88	-277	-60,32	<0,0001	0,87	0,80
CASC00	24	3645	22,71	-0,12	21,96	-0,26	-0,28	62,43	128	14,03	0,0020	0,75	0,62
PIG00	22	2095	15,95	-0,02	35,57	-0,34	-0,16	-60,50	139	37,32	0,0014	0,81	0,69
PUAN00	24	4493	29,02	-0,47	23,35	-0,23	-0,37	112	-82,77	-10,35	0,5467	0,32	0,00
TSAS00	24	3952	3,09	-0,04	13,75	-0,31	-0,30	-12,37	86,66	18,49	0,5838	0,31	0,00
CMQTE01	24	3242	0,7	-0,03	6,26	-0,16	0,17	-101	-79,25	-28,87	0,4112	0,37	0,04
CONS01	24	3242	25,08	-0,33	13,88	-0,11	-0,43	39,55	6,25	74,93	0,2533	0,44	0,14
DULTE01	23	4243	17,53	-0,36	-1,14	0,09	-0,17	12,18	-68,72	-8,77	0,8696	0,21	0,00
DULTA01	24	4762	26,42	-0,61	22,54	-0,61	-1,19	-92,85	45,47	44,93	0,0551	0,58	0,35
SMIG01	22	2421	16,35	-0,12	6,85	-0,12	-0,23	5,25	-11,23	-15,57	0,0350	0,65	0,44
ALB02	24	2432	-0,36	-0,04	15,49	-0,17	0,08	42,61	14,04	14,45	0,1747	0,48	0,2
BORD02	18	1086	21,32	0,11	50,02	-0,67	-0,52	-22,17	9,33	-	0,0050	0,81	0,69
CAB02	24	3036	19,00	-0,25	11,16	-0,22	-0,28	37,51	-125	102	0,1806	0,47	0,19
CONS02	21	3444	18,37	-0,11	11,65	0,06	-0,15	-24,81	18,28	45,94	0,1150	0,59	0,31
DUL02	23	4575	-8,55	0,13	18,12	-0,33	0,29	42,76	405	-36,58	0,0025	0,76	0,63
PUAN02	24	2614	46,33	-0,48	29,55	-0,18	-0,48	30,70	134	-11,18	0,0002	0,82	0,73

b) Proteína

Ensayo	n	const	Ne	Ne ²	Nm	Nm ²	N _e *N _m	L _b	Q _b	C _b	p-valor modelo	R ²	R ² Aj
ALB99	23	12,30	0,0309	0,0002	0,0434	0,0000	0,0003	0,0066	0,1211	-0,0032	0,0002	0,85	0,76
AZUL99	22	11,10	-0,0109	0,0006	0,0132	0,0001	0,0012	-0,1101	0,1424	0,0471	0,0617	0,61	0,38
BORD99	20	14,21	-0,0181	0,0007	0,0331	-0,0001	0,0002	-0,1648	-0,1052	0,0329	<0,0001	0,93	0,88
PIG99	23	12,74	0,0023	0,0005	-0,0239	0,0008	0,0013	-0,1288	-0,1478	-0,0637	0,0015	0,78	0,66
SMAY99	24	10,15	-0,0308	0,0008	0,0300	0,0001	0,0005	-0,1142	-0,0250	-0,0033	<0,0001	0,90	0,85
CSUA99	24	10,45	0,0317	0,0001	0,0642	-0,0005	-0,0006	0,0054	0,2104	0,0546	0,0001	0,84	0,75
TSAS99	24	11,87	0,0179	0,0002	0,0033	0,0006	0,0013	0,1358	0,4042	-0,1492	0,0057	0,71	0,55
URU99	17	13,09	0,0422	-0,0003	0,0477	-0,0004	-0,0012	0,2025	-0,0175		0,8175	0,28	0,00
ALB00	24	11,85	0,0113	0,0000	0,0213	-0,0001	-0,0002	0,0783	-0,0875	0,0317	0,0436	0,59	0,38
BORD00	24	8,77	0,0825	-0,0012	0,0475	-0,0008	-0,0017	-0,0583	-0,0250	0,0417	0,7127	0,26	0,00
CASC00	24	10,60	-0,0004	0,0002	0,0104	0,0002	0,0006	-0,1325	0,0208	-0,0608	0,0315	0,62	0,41
PIG00	24	11,22	-0,0083	0,0003	-0,0117	0,0006	0,0010	-0,0533	0,1417	-0,0567	<0,0001	0,86	0,79
PUAN00	24	9,35	0,0050	0,0006	0,0100	0,0003	0,0003	-0,1575	-0,0750	0,0892	0,0010	0,78	0,66
TSAS00	24	10,35	0,0288	-0,0001	0,0262	0,0003	-0,0001	0,0142	-0,3042	-0,0425	<0,0001	0,96	0,93
CMQTE01	24	11,00	0,0625	-0,0006	0,0692	-0,0004	-0,0012	-0,0517	-0,0250	0,0383	0,1094	0,52	0,27
CONS01	22	12,56	0,0062	0,0000	-0,0060	0,0002	-0,0001	-0,0183	0,0583	0,0050	0,8118	0,25	0,00
DULTE01	22	12,84	0,0203	-0,0002	0,0255	-0,0002	-0,0003	0,2588	-0,0562	-0,0388	<0,0001	0,96	0,93
DULTA01	22	13,39	0,0062	-0,0001	-0,0029	0,0001	0,0001	0,1152	-0,0964	0,0268	0,0004	0,85	0,75
SMIG01	23	10,40	-0,0063	0,0003	-0,0062	0,0000	0,0003	0,0319	0,0011	0,0210	0,0129	0,69	0,51
ALB02	23	13,33	0,0300	-0,0004	0,0200	-0,0001	-0,0010	0,0100	-0,0800	0,0100	0,1129	0,54	0,28
CONS02	24	11,60	0,0092	-0,0001	0,0033	0,0001	0,0001	-0,0933	-0,5917	0,0467	<0,0001	0,95	0,92
DUL02	21	11,64	-0,0046	0,0002	-0,0140	0,0003	0,0005	0,0217	0,1583	0,0017	0,0806	0,62	0,36
PUAN02	23	10,85	-0,0199	0,0003	-0,0200	0,0004	0,0007	0,0070	0,0867	0,0273	0,1493	0,51	0,24

c) Rendimiento de N

Ensayo	N	const	Ne	Ne ²	Nm	Nm ²	Ne*m	Lb	Qb	Cb	p-Modelo	R ²	R ² Aj
ALB99	23	74,7	0,203	-0,004	-0,181	0,005	0,001	-0,954	3,434	0,133	0,5799	0,33	0,00
AZUL99	22	58,9	1,011	-0,009	-1,857	0,041	0,041	-0,555	3,958	3,523	0,2038	0,50	0,19
BORD99	20	19,4	0,056	0,002	0,337	-0,003	0,004	-0,160	-0,637	-0,573	0,0039	0,81	0,68
PIG99	24	30,5	0,780	-0,006	0,758	-0,004	-0,015	1,524	-0,959	2,103	0,091	0,54	0,29
SMAY99	24	22,1	0,507	0,001	0,590	-0,002	-0,004	-0,582	-1,100	-1,123	0,0091	0,69	0,52
CSUA99	24	71,2	0,581	-0,003	0,523	-0,003	-0,008	-1,895	1,825	0,568	<0,0001	0,86	0,78
TSAS99	24	34,0	0,234	-0,002	0,355	-0,002	-0,004	0,744	2,816	-0,224	0,0017	0,76	0,63
URU99	17	29,5	0,104	0,001	0,248	-0,003	0,008	6,236	-1,923		0,0268	0,76	0,58
ALB00	23	71,4	-0,130	0,006	0,453	-0,004	0,003	1,596	0,647	0,595	0,0243	0,65	0,46
BORD00	24	26,1	1,349	-0,014	0,984	-0,012	-0,018	0,963	-4,384	-0,592	0,0038	0,73	0,58
CASC00	24	61,6	0,389	0,000	0,451	-0,003	0,000	0,214	2,363	-0,129	0,0056	0,71	0,55
PIG00	24	29,8	0,900	-0,012	0,982	-0,008	-0,007	-0,091	1,883	1,778	0,1435	0,5	0,23
PUAN00	24	67,5	0,500	-0,004	0,399	0,000	-0,003	0,868	-1,685	0,297	0,1718	0,48	0,20
TSAS00	24	65,4	0,236	-0,001	0,431	-0,004	-0,006	-0,139	-0,362	0,088	0,3066	0,41	0,10
CMQTE01	24	57,0	0,294	-0,003	0,509	-0,006	-0,002	-2,401	-1,796	-0,437	0,2243	0,45	0,16
CONS01	22	62,9	0,664	-0,008	0,125	0,002	-0,008	0,895	1,425	0,951	0,2569	0,48	0,15
DULTE01	23	66,4	1,550	-0,020	0,902	-0,006	-0,024	4,520	-5,996	0,373	0,1357	0,52	0,25
DULTA01	22	101	0,671	-0,014	0,531	-0,013	-0,032	-1,134	0,902	0,630	0,1168	0,56	0,29
SMIG01	22	40,3	0,239	-0,001	0,080	-0,002	-0,003	0,245	-0,299	-0,223	0,0056	0,75	0,60
ALB02	23	56,5	-0,110	0,001	0,180	-0,002	0,003	0,380	0,690	0,140	0,3586	0,41	0,07
CONS02	21	64,1	0,348	-0,002	0,213	0,003	-0,001	-1,084	-3,272	1,270	0,0089	0,76	0,59
DUL02	24	61,8	0,862	-0,005	-0,313	0,012	0,012	-4,648	1,761	-2,543	0,2466	0,44	0,14
PUAN02	24	45,3	0,997	-0,017	0,406	-0,001	-0,004	-1,205	-0,132	-0,647	0,2867	0,42	0,11

Coefficientes significativos a $p < 0,05$ en negrita