

INCIDENCIA DE LA FERTILIZACIÓN CON CINC Y NITRÓGENO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE POROTO

ADRIANA ELINA ORTEGA

INGENIERA AGRÓNOMA (1981 – Universidad Nacional de Salta)



Magister Scientiae – Área: Ciencias del Suelo

Escuela para Graduados Alberto Soriano

Convenio Facultad de Agronomía – UBA

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

COMITÉ CONSEJERO

Consejero Principal:

R. Martha Palma

Ingeniera Agrónoma

Master of Science

Consejero:

Nilda M. Arrigo

Profesora de Geografía

Master of Science

JURADO DE TESIS

Presidente: R. Martha Palma

Ingeniera Agrónoma

Master of Science

Miembro: Silvia Elisa Ratto

Ingeniera Agrónoma

Master of Science

Miembro: Ricardo José Melgar

Ingeniero Agrónomo

Ph. D. Ciencias del Suelo

Fecha de aprobación de la tesis: 13 de diciembre de 2001.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS EXTENSIVOS DE SALTA Y JUJUY	5
1.3. EL CINC EN EL SUELO	7
1.3.1. Factores que influyen en la disponibilidad de cinc en el suelo	9
1.3.2. Diagnóstico de la disponibilidad de cinc en el suelo	12
1.4. POROTO	14
1.4.1. Tipos de poroto	15
1.4.2. Hábitos de crecimiento del poroto	15
1.4.3. Etapas de desarrollo del poroto	17
1.4.4. Componentes de rendimiento	18
1.4.5. Poroto, nitrógeno y cinc	19
1.5. HIPÓTESIS	20
1.6. OBJETIVOS	21
CAPÍTULO 2. MATERIALES y MÉTODOS	22
2.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	22
2.2. ENSAYO EXPERIMENTAL EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO	25
2.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	27
2.4. VARIABLES RESPUESTA	30
2.5. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA	33

CAPÍTULO 3. RESULTADOS y DISCUSIÓN	34
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ZONA PRODUCTORA DE POROTO	34
3.2. ENSAYO EN INVERNÁCULO	37
3.2.1. Respuesta al Zn y su interacción con N en un Haplustol údico	37
3.2.1.1. Producción de materia seca y sus componentes	37
3.2.1.2. Concentración de nutrimentos	44
3.2.1.3. Absorción de nutrimentos	50
3.2.2. Respuesta al Zn y su interacción con N en un Argiustol típico	56
3.2.2.1. Producción de materia seca y sus componentes	56
3.2.2.2. Concentración de nutrimentos	62
3.2.2.3. Absorción de nutrimentos	65
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN GENERAL	72
BIBLIOGRAFÍA	79
APÉNDICE	89
Anexo 1. Datos y análisis estadísticos de los suelos de producción de poroto	90
Anexo 2. Especificación de los contrastes de tendencia y ortogonales realizados y tablas resúmenes de los análisis exploratorios y confirmatorios de los datos del ensayo en un suelo Haplustol údico	95
Anexo 3. Especificación de los contrastes de tendencia y ortogonales realizados y tablas resúmenes de los análisis exploratorios y confirmatorios de los datos del ensayo en un suelo Argiustol típico	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Extractantes para Zn de uso común en el análisis de suelo	13
Tabla 1.2. Niveles críticos de Zn extraíble del suelo por diferentes métodos	15
Tabla 2.1 Análisis físico-químicos de los suelos utilizados en el ensayo de invernáculo.	25
Tabla 2.2. Dosis equivalentes de Zn y N para las unidades experimentales	26
Tabla 3.1. Medias y desvíos de las determinaciones analíticas de los suelos de producción de poroto de Salta y Jujuy	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Planta de poroto de hábito tipo I	16
Figura 1.2. Planta de poroto de hábito tipo II	16
Figura 1.3. Curvas de absorción de macronutrientes para poroto	20
Figura 2.1. Áreas de muestreo de suelo de la región de cultivos extensivos	24
Figura 3.1. Análisis discriminante para los suelos de Salta y Jujuy cultivados con poroto	35
Figura 3.2. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N	38
Figura 3.3. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	38
Figura 3.4. Peso seco de raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	38
Figura 3.5. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con N	39
Figura 3.6. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	39
Figura 3.7. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	40
Figura 3.8. Granos por vaina de poroto y su respuesta a la fertilización con N	40
Figura 3.9. Granos por vaina de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	40
Figura 3.10. Cantidad total de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	41

Figura 3.11. Vainas vanas por planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	41
Figura 3.12. Vainas totales por planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	42
Figura 3.13. Contenido de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N	45
Figura 3.14. Contenido de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	45
Figura 3.15. Contenido de N en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	45
Figura 3.16. Contenido de Zn en los granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N	46
Figura 3.17. Contenido de Zn en la parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con N	47
Figura 3.18. Contenido de Zn en la parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	47
Figura 3.19. Contenido de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N	47
Figura 3.20. Contenido de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	47
Figura 3.21. Concentración promedio de Zn en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada	48
Figura 3.22. Concentración promedio de N en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada	49

Figura 3.23. Absorción de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N	50
Figura 3.24. Absorción de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	50
Figura 3.25. Absorción de N en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.	51
Figura 3.26. Absorción total de N de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	51
Figura 3.27. Absorción de Zn en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N	52
Figura 3.28. Absorción de Zn en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	52
Figura 3.29. Absorción de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N	53
Figura 3.30. Absorción de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	53
Figura 3.31. Absorción total de Zn en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con N	53
Figura 3.32. Absorción promedio de Zn en los diferentes órganos de la planta	54
Figura 3.33. Absorción promedio de N en los diferentes órganos de la planta	54
Figura 3.34. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	57

Figura 3.35. Peso seco de la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	57
Figura 3.36. Peso seco total de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	57
Figura 3.37. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	57
Figura 3.38. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con N	58
Figura 3.39. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	58
Figura 3.40. Cantidad total de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	59
Figura 3.41. Vainas llenas de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	59
Figura 3.42. Vainas vanas de poroto y su respuesta a la fertilización con N	60
Figura 3.43. Vainas vanas de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	60
Figura 3.44. Vainas totales de poroto y su respuesta a la fertilización con N	60
Figura 3.45. Concentración de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	62
Figura 3.46. Concentración de Zn en parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	63
Figura 3.47. Concentración de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	63

Figura 3.48. Concentración promedio de Zn en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada	65
Figura 3.49. Concentración promedio de N en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada	65
Figura 3.50. Absorción total de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	66
Figura 3.51. Absorción total de N en parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con N	66
Figura 3.52. Absorción total de N en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	67
Figura 3.53. Absorción de Zn en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	68
Figura 3.54. Absorción de Zn en parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización Zn y N	68
Figura 3.55. Absorción de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N	68
Figura 3.56. Absorción de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn	68
Figura 3.57. Absorción total de Zn en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N	69
Figura 3.58. Absorción promedio de Zn en los diferentes órganos de la planta	70
Figura 3.59. Absorción promedio de N en los diferentes órganos de la planta	70

Figura 3.60. Rendimiento en granos de poroto en suelos Haplustol údico y 71
Argiustol típico, no fertilizados y fertilizados con Zn y N

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1.1. Deficiencia de Zn en el cultivo de poroto en Metán (Salta)	3
Foto 1.2. Diferentes tipos comerciales de poroto	15
Foto 2.1. Ensayo de poroto alubia en estado fenológico V3	28
Foto 2.2. Estado fenológico V4	28
Foto 2.3. Estado fenológico R5	28
Foto 2.4. Estado fenológico R9	28

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, y producto de mi propio trabajo; y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Fertilización con cinc y nitrógeno y su relación con la producción de poroto en suelos del noroeste argentino

RESUMEN

La producción de porotos secos (*Phaseolus vulgaris* L.) en Argentina se concentra en las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero, constituyendo este producto una fuente de ingreso interesante para la región. Este cultivo resulta de vital importancia porque suplementa la dieta básica fundamentalmente en países donde el ingreso per cápita es bajo. El poroto es muy susceptible a la deficiencia de Zn y N. Los objetivos planteados fueron caracterizar los suelos de la región productora de cultivos extensivos de Salta y Jujuy por el contenido de Zn hasta nivel taxonómico de Subgrupo, establecer el efecto de diferentes dosis de fertilización con Zn y N sobre la producción de materia seca, los componentes del rendimiento y la concentración y absorción de Zn y N y determinar la interacción de la aplicación de Zn con la fertilización nitrogenada. Para cumplir con el primer objetivo se empleó el análisis de coordenadas discriminantes siendo el contenido de Zn-DTPA una de las características que permitió diferenciar a los suelos en cuatro Subgrupos: Haplustoles típicos con $0,39 \pm 0,14$ mg Zn kg⁻¹, Haplustoles údicos con $1,70 \pm 0,76$ mg Zn kg⁻¹, Argiustoles típicos $0,55 \pm 0,19$ mg Zn kg⁻¹ y Argiustoles údicos $1,57 \pm 0,47$ mg Zn kg⁻¹. Los Subgrupos típicos presentaron contenidos insuficientes de este nutrimento al considerar como nivel crítico ($0,6$ mg Zn kg⁻¹), mientras que los dos restantes están bien abastecidos de este elemento. Para corroborar los restantes objetivos, se realizó un ensayo en un invernáculo en macetas empleando dos suelos (Haplustol údico y Argiustol típico) en los que se sembraron poroto tipo Alubia. El diseño experimental fue totalmente aleatorizado con arreglo factorial completo (2x4), con cinco repeticiones. Los tratamientos de fertilización fueron: N-urea (0 y

50 kg N ha⁻¹) y Zn-ZnSO₄ (0, 5, 10 y 20 kg Zn ha⁻¹), adicionados a las macetas de forma independiente y combinados para cada suelo. Las variables determinadas fueron: producción de materia seca, componentes de rendimiento, concentración y absorción de Zn y N. En el suelo Haplustol údico, con contenidos superiores al nivel crítico de Zn, no hubo variación de la producción neta con la fertilización, pero sí aumentó el rendimiento en grano y la calidad por tamaño. Si bien respondió a la fertilización con Zn y N en forma similar e independiente en cuanto a rendimiento, se observó la conveniencia de la aplicación conjunta de estos nutrimentos en dosis de 10 kg Zn ha⁻¹ y 50 kg N ha⁻¹ por el aumento en calidad de grano, nutritiva y en tamaño. En el suelo Argiustol típico, con contenidos inferiores de Zn al nivel crítico, respondió a la fertilización con Zn con aumento de la materia seca total, rendimiento en grano, calidad por incremento de tamaño y contenido de N. Respondió a la interacción de Zn y N sinérgicamente alcanzando máximos resultados con la aplicación al suelo de 20 kg Zn ha⁻¹ y 50 kg N ha⁻¹.

Palabras clave: fertilización, poroto, *Phaseolus vulgaris* L., Haplustol, Argiustol, suelo, cinc, nitrógeno, interacción cinc-nitrógeno.

Fertilization with zinc and nitrogen and its relation to bean production on soils of the Northwest of Argentina

ABSTRACT

The production of dry beans (*Phaseolus vulgaris L.*) in Argentina is centered on the provinces of Salta, Jujuy, Tucumán and Santiago del Estero, creating this product an interesting income for the region. This cultivation is of vital importance because it supplements basic diet fundamentally in countries where the income per capita is low. Bean is highly susceptible to Zn and N deficiency. The aims outlined were to characterize the soils of the production region of extensive cultivation in Salta and Jujuy. For Zn content until the taxonomic level of Sub-group, to establish different fertilization doses with Zn and N on the production of dry matter, yield components and the concentration and uptake of Zn and N, and to determine the interaction of Zn application with nitrogenous fertilization. To achieve the first aim, it was used the analysis of linear discriminant function being the Zn-DTPA content one of the items that allowed the soils to differentiate in four Sub-groups: Typic Haplustoll with $0,39 \pm 0,14$ mg Zn kg⁻¹, Udic Haplustoll with $1,70 \pm 0,76$ mg Zn kg⁻¹, Typic Argiustoll $0,55 \pm 0,19$ mg Zn kg⁻¹ and Udic Argiustoll $1,57 \pm 0,47$ mg Zn kg⁻¹. Typical Sub-groups displayed insufficient contents of this nutriment to consider as critical level ($0,6$ mg Zn kg⁻¹), while both remaining are well supplied of this element. To corroborate the remaining aims, a trial was carried out in an experimental greenhouse using two soils (Udic Haplustoll and Typic Argiustoll) where alubia bean was seeded. The experimental design was totally randomized with complete factorial arrangement (2x4) with 5 replications. The fertilization treatments were: N-urea (0 and 50 kg N ha⁻¹) and Zn-ZnSO₄ (0, 5, 10 and 20 kg

Zn ha⁻¹), added on the pots in an independent way and combined for each soil. The determined variables were: dry matter production, yield components, Zn and N concentration and uptake. In Udic Haplustoll, with higher Zn contents to critical level, there was no variation of net production with fertilization, but the yield increased in grain, and the quality for size. Although it responded to Zn and N fertilization in a similar and independent way regarding yield, it was noticed the convenience of the application of these nutrients altogether in 10 kg Zn ha⁻¹ and 50 kg N ha⁻¹ doses for the increase of grain nutritive quality and in size. In Typic Argiustoll soil, with lower contents to Zn critical level, it responded to Zn fertilization with an increase of total dry matter, grain yield, quality by increase of size and N content. It had a response to Zn and N interaction synergically reaching maximum results with the 20 kg Zn ha⁻¹ and 50 kg N ha⁻¹ application to soil.

Key words: fertilization, bean, *Phaseolus vulgaris* L., Haplustoll, Argiustoll, soil, zinc, nitrogen, zinc-nitrogen interaction.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.GENERALIDADES

Los objetivos fundamentales de la producción agrícola son reducir los costos de producción, incrementar los rendimientos de los cultivos, estimular la producción sostenible y reducir el impacto ambiental adverso.

En Argentina, a partir del año 1991, se dieron condiciones económicas básicas tales como la disminución de retenciones en el agro, recuperación de precios internacionales de los granos y la apertura de las importaciones, que permitieron el ingreso de tecnologías. Dada esta coyuntura, comenzó a generalizarse e intensificarse el uso de fertilizantes, que ha resultado un medio eficiente para satisfacer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

De 1991 a 1998, el consumo de fertilizantes se incrementó de 330.000 Mg a 1.500.000 Mg. En los últimos años, este valor se mantiene como piso, previéndose que en el futuro inmediato aumentará el consumo de fertilizantes (Fay 2001). Una de las razones de este aumento es la necesidad de pasar de una agricultura extractiva a una de reposición. Esto significa, por lo menos, aportar al suelo lo que la cosecha extrae. En el noroeste argentino, en los cultivos extensivos la aplicación de fertilizantes es escasa o nula, lo que hace suponer un agotamiento de nutrientes sobre todo en suelos de textura gruesa (Figuroa y Ortega 1997). Sumado a esto, en los 2 últimos años el aumento de los cultivos de alto rendimiento y el mejoramiento genético de los cultivares, agravan aún más esta

problemática, debido al incremento en la extracción de nutrientes.

En el caso de los micronutrientes los cultivos extraen 2 a 6 veces mayor cantidad que los que se incorporan con las fertilizaciones simples o mixtas. Las deficiencias encubiertas de micronutrientes están siendo mucho más difundidas de lo que se conoce y pueden agravarse en un futuro próximo, provocando graves restricciones de producción, si no se estudian debidamente y se diagnostican a tiempo (Katyal y Randhawa 1985, Fay 2001).

En diferentes ensayos o experimentos de fertilización realizados por INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) en cultivos del noroeste argentino (soja, maíz, poroto, caña de azúcar, etc.), el uso de fertilizantes nitrogenados permitió lograr mejor calidad y mayor rendimiento (Jáuregui 1984, Ortega 1994, Figueroa y Ortega 1997, Ortega 1997, Figueroa 1997, Ortega 1999d).

A nivel mundial, el Zn es considerado como el tercer nutriente más importante en la limitación de los rendimientos vegetales, luego del N y P (Katyal y Randhawa 1985, Rosolem 1987). Su deficiencia se está generalizando y es cada vez más intensa (Gupta 1995), pudiendo reducir el rendimiento de la planta, hasta en un 50 %, sin que existan síntomas visibles (Katyal y Randhawa 1985).

En ensayos de maíz realizados en el NOA, cuyos suelos presentan valores de Zn extraíble por debajo de los patrones internacionales, se observó un importante aumento de rendimiento provocado por la fertilización con este elemento. En plantaciones de pecán, severos síntomas de deficiencia de Zn (*little leaf* y escaso crecimiento) se revirtieron, al aplicarlo al suelo como fertilizante (Ortega 1994 y 1995).

En ensayos de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) para grano seco, realizados en el NOA, se han observado síntomas de deficiencia de Zn, que fueron corroborados mediante pruebas diagnósticas empleando fertilización foliar (Ortega 1999c) (Foto 1.2).

Foto 1. Deficiencia de Zn en el cultivo de poroto en Metán (Salta)



Por lo expuesto, es imprescindible ahondar en la investigación acerca del uso de fertilizantes, sus interacciones, respuestas de los cultivos y forma de aplicación en distintos suelos.

El poroto es la legumbre con mayor concentración de Zn en el grano (Moraghan 1996), con valores que oscilan de 25 a 40 mg kg⁻¹ (Samman et al. 1999). Es por ello, muy valioso para la alimentación de personas vegetarianas o que consumen poca carne. Pero su contenido no es suficiente para abastecer todo el ciclo del cultivo, cuando se lo usa como semilla.

Las plantas de poroto son altamente susceptibles a la deficiencia de Zn: lo requieren en cantidades aproximadas de 10-100 mg kg⁻¹. El rendimiento del poroto aumenta cuando se fertiliza con Zn (Cakmak et al. 1989); sin embargo, hay variedades de poroto más susceptibles que otras a las deficiencias de este elemento (Jolley y Brown 1991).

En cuanto a la comercialización de esta legumbre, los mercados

demandantes se diferencian por las exigencias en el tipo de poroto que requieren. La Unión europea es la más exigente en calidad de poroto y es uno de los mayores demandantes de poroto tipo alubia. El 98% de la exportación mundial de este tipo de poroto proviene de Argentina (INTA-EEA Salta 1998).

El desafío en Argentina, para la investigación, es obtener producciones altas, estables en volúmenes y calidad. Esto sólo se logra a través del mejoramiento genético acompañado de una tecnología de manejo que permita expresar el máximo potencial varietal y nutricional (INTA-EEA Salta 1998). Entre los principales factores que condicionan la generación de tecnología se destacan: la necesidad de bajar costos productivos y el aumento de la producción con el menor impacto negativo ambiental (INTA-EEA Salta 1998).

La zona de producción de poroto se caracteriza por tener suelos de origen eólico y aluvial, principalmente Haplustoles y Argiustoles. Dadas las condiciones climáticas de precipitaciones intensas (en un corto período del año coincidente con la siembra del poroto) y las altas temperaturas, los suelos presentan problemas físicos como la compactación y la erosión. Hasta la década del 80, este cultivo se realizaba en suelos con desmontes recientes (de 2 a 5 años). En la actualidad se tiende a hacer monocultivo (INTA-EEA Salta 1999) y con una homogeneidad varietal muy fuerte, especialmente en el tipo blanco “alubia” y negro pequeño (INTA-EEA Salta, 1998).

Entre las vías de solución para mantener la sostenibilidad del sistema, se ha recurrido a la siembra directa, sin embargo la aplicación de esta técnica se ha visto limitada debido a la proliferación de enfermedades fúngicas (Arzeno 1999).

La mayoría de los suelos de la zona productora de poroto son ricos en

fósforo, con contenidos bajos a medios de materia orgánica y nitrógeno, con pH débilmente ácido a levemente alcalino, erosionados y/o degradados (INTA-EEA Salta 1999). En el NOA, se han realizado diversos estudios de fertilización de distintos tipos de poroto, utilizando macronutrientes. El elemento más limitante resultó ser el N (en todos los casos), hecho evidente en el rendimiento y calidad de granos. El P no resultó limitante, excepto en los suelos muy degradados cuyo contenido no superaba los valores de P extraíble de 10 mg kg⁻¹ (Bray Kurzt I), pero se comprobó interacción cuando se fertilizaba con N. No existió respuesta cuando se fertilizó con Ca, Mg y K (Jáuregui 1984, Tau 1984, Figueroa 1990, Figueroa 1998, Figueroa 1999, Figueroa y Ortega 1997, Ortega 1990, Ortega 1999a, Ortega 1999b).

Dadas las observaciones realizadas en los cultivos de la zona donde se detectan síntomas que podrían ser causados por deficiencia de Zn, se considera interesante empezar a estudiar qué pasaría en los suelos con la adición de este micronutriente y cómo afectaría al crecimiento del vegetal. Como la fertilización adoptada para esta leguminosa es la nitrogenada (siendo la dosis más empleada de 100 kg ha⁻¹ de urea), sería valioso saber si se produce interacción entre Zn y N cuando estos son aplicados simultáneamente como fertilizantes.

1.2. ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS EXTENSIVOS DE SALTA Y JUJUY

Argentina cultiva aproximadamente 250.000 ha de poroto para grano seco, con una media de rendimiento de 1.000 kg ha⁻¹, siendo ésta superior a la obtenida en la mayoría de los países latino americanos, donde se cultiva y consume como parte de la dieta básica. En nuestro país es un producto que se

exporta casi en su totalidad, debido a su consumo escaso. La producción está circunscripta a las provincias de Jujuy, Tucumán, Santiago del Estero y Salta. Esta última es la de mayor producción, con una participación que oscila entre 65 y 75 % del total nacional (INTA-EEA Salta-AEEyDR 1998, INTA-EEA Salta 1999).

En las provincias de Salta y Jujuy se distinguen siete regiones agroecológicas, tomando en cuenta, para su clasificación, el relieve, tipos de suelo, vegetación y recursos hídricos. La Región de Explotación Extensiva se extiende de norte a sur entre Piedemontes y la isohieta de 550 mm en el Chaco Salteño. En los últimos años, ha sido la región que incorporó más tierras para la agricultura, tanto que en algún momento los desmontes superaron las 10.000 ha año⁻¹

Esta área a su vez, se puede dividir en cuatro zonas (Bianchi 1992):

Zona Sur

Corresponde a la zona tradicional del cultivo y coincide con la región natural de Piedemonte y Valles subandinos. En ella dominan los paisajes de plano suavemente inclinado, con pendientes de 1,5 a 2,5%. A pesar de ello, son suelos con graves problemas de erosión. Aunque por efecto orográfico hay zonas con mayores precipitaciones que otras, el balance hidrológico revela 3 meses sin déficit; ello posibilita los cultivos de secano. En los últimos años, la producción se extendió hacia el Este, en búsqueda de mejores suelos y mejores pendientes.

Zona Este

Corresponde a la región natural del Umbral al Chaco. Se caracterizó por ser un área de expansión, a mediados de los setenta; y de retracción a fines de los ochenta. Se la puede considerar como una estrecha zona de transición entre el

Piedemonte y la Llanura Chaqueña, con un paisaje plano suavemente inclinado, cuyas pendientes son de 1% y una variación pluviométrica de Oeste a Este, de 900 a 550 mm.

Zona Centro

Corresponde a los Valles templado-cálidos de Lerma, Perico y Sianca y a la zona de mayor producción de granos de Jujuy. Los valles constituyen un plano inclinado con pendiente Oeste-Este del orden del 1% son áreas de regadío.

Zona Norte

Corresponde a las regiones de Piedemonte y Umbral al Chaco. En sus extremos septentrionales y más cálidos poseen características húmedas y subhúmedas, respectivamente. En ella se ha producido el último avance de la frontera agropecuaria y, debido a su condición subtropical, la dinámica de los procesos erosivos es muy alta. Posee, también, una variación pluviométrica de Oeste a Este de 900 a 550 mm.

Los suelos con mayor índice de productividad de todas las regiones agroecológicas de Salta y Jujuy, con valores entre 91 y 68, corresponden a suelos Argiustoles údicos y Haplustoles údicos, ubicados en el Región de cultivos Extensivos (INTA 1990).

1.3.EL CINC EN EL SUELO

La principal fuente de micronutrientes es el suelo (Reis et al.1992). El Zn en el suelo se presenta en distintas formas:

- **Mineral Fe-Mg-Zn** que forma parte de la estructura mineral, en particular, en los ferromagnésicos como la augita, la hornblenda y la biotita.

Como el radio iónico del Zn^{+2} es parecido a los de Fe^{+2} y Mg^{+2} , puede haber sustituciones isomórficas en octaedros de arcillas. Esta fracción constituye la principal fuente de este elemento (Malavolta 1980, Hamilton et al. 1993).

- **Sales de Zn** como la esfalerita (ZnS), la esmitsonita ($ZnCO_3$), la cincita (ZnO) y la willemita ($ZnSiO_3$ y $ZnSiO_4$) (Halminton et al. 1993).

- **Ocluido** en hidróxidos precipitados de Al, Fe y Mn sobre Zn complejado con materia orgánica o adsorbido específicamente. La oclusión también se produce por reacciones de coprecipitación ocurridas en el suelo. El Zn ocluido no está en contacto con la solución del suelo y por lo tanto no puede solubilizarse (Sparks et al. 1996).

- **Residuos** biológicos y organismos vivos (Sparks et al. 1996).

- **Orgánico** como complejos y quelatos en forma soluble e insoluble (CIAT 1985).

- **Adsorción específica** del Zn que reacciona con un par de electrones donantes, por ej. O y N en grupos funcionales, para formar ligaduras con covalencias relativamente altas. El Zn es adsorbido específicamente por carbonatos, filosilicatos, óxidos hidratados y materia orgánica (Sparks et al. 1996).

- **Intercambiable** adsorbido en forma no específica, unido con ligadura iónica (Sparks et al., 1996). Presente en el complejo de intercambio de arcillas y en la materia orgánica, en las formas químicas de Zn^{+2} , $ZnOH^+$ y $ZnCl^+$ (Malavolta 1980, Kabata Pendías y Pendías 1985).

- **Soluble en agua** incluye el Zn^{+2} y sus complejos solubles con la materia orgánica (Malavolta 1980, Hamilton et al. 1993).

El Zn disponible es el Zn lábil, constituido por la fracción soluble

(intensidad) y el adsorbido no específicamente a los coloides del suelo (capacidad). Las deficiencias se manifiestan en los suelos que tienen bajo Zn soluble o baja capacidad de reposición.

El Zn lábil está en equilibrio meta estable con las formas no lábiles del suelo. Así, porciones de formas lábiles se revierten en formas no lábiles, con el tiempo, y viceversa. La solubilización del Zn es muy lenta y raramente suple la necesidad del cultivo, durante la estación de crecimiento (Westerman 1990).

La distribución de Zn varía ampliamente en distintos suelos, como resultado de diferencias en la mineralogía, material madre y contenido de materia orgánica (Sparks et al. 1996). El contenido total en el suelo varía entre 10 y 300 mg kg⁻¹, con un valor medio de aproximadamente 80 mg kg⁻¹. Un valor alto de Zn total no siempre es garantía de un buen abastecimiento. En general, el contenido en las plantas no guarda relación con el contenido total en el suelo (Malavolta 1980, Katyal y Randhawa 1985).

1.1. Factores que influyen en la disponibilidad de cinc en el suelo

- ***Material madre, relieve y clima***

Variaciones en la altitud y exposición de las laderas en los suelos montañosos, producen cambios en la disponibilidad de Zn (Gupta 1995).

Cambios en el régimen de humedad del suelo, conducen a una reducción significativa en Zn (Katyal y Sharma 1991).

Los Argiustoles pueden inundarse en algún momento del año, por lo tanto la disponibilidad de Zn puede disminuir hasta un 75% (Malavolta 1980).

Con respecto a la temperatura, la deficiencia se agrava cuando hay días

frescos y nublados posteriores a la siembra, y suele desaparecer a medida que la temperatura aumenta. Una explicación para este comportamiento estaría relacionado con el aumento de la tasa de crecimiento de las raíces (Gupta 1995).

- ***Vegetación y tipo del cultivo***

Los suelos de bosque son ricos en Zn mientras que al pasar a cultivo en algunos casos, se produce disminución de la disponibilidad (Katyal y Randhawa 1985), probablemente debido a la pérdida de materia orgánica y a la extracción por los cultivos.

Los cultivares difieren en su habilidad de absorber este elemento. Hay genotipos que tienen una pobre habilidad para utilizarlo, esto los hace más susceptibles a la deficiencia (Gupta 1995).

- ***Suelo***

El contenido total de Zn es muy bajo cuando posee menos de 30 mg kg^{-1} . Esta situación suele presentarse en suelos cuya génesis resulta escasa en este elemento, áreas áridas, suelos lixiviados o por remoción durante las cosechas (Malavolta 1980, Katyal y Randhawa 1985).

En los suelos calcáreos y alcalinos, el Zn se adsorbe específicamente por el carbonato o se precipita como hidróxido o carbonatos o también puede insolubilizarse por formación de cincato de calcio. Tales reacciones son, en parte, responsables de la baja disponibilidad de Zn en estos suelos (Gupta 1995). Las partículas más gruesas del suelo (arenas) contienen y retienen bajos contenidos de Zn (Katyal y Randhawa 1985). En los suelos que contienen arcillas con baja relación Si/Mg, el Zn es fijado en forma no disponible para las plantas. En las arcillas 2:1, con alta capacidad de fijación (máxima para las esmectitas), el Zn^{+2} es

fijado en las zonas interlaminares de su estructura favorecida por el mecanismo de expansión y contracción del mineral (Cakmak et al. 1989, Gupta 1995).

Cuando se fertiliza con Zn un cultivo de poroto, aumenta su contenido en semillas, lámina foliar y tallos (Moraghan 1994). Si bien hay investigaciones que confirman estos resultados (Moraghan 1994, Moraghan 1996, Moraghan et al. 1999) no se han hallado investigaciones para el poroto tipo alubia.

- ***Efecto del pH del suelo***

La disponibilidad de Zn es altamente dependiente del pH (Liang et al. 1991), tanto que llega a ser máxima en suelos ácidos y mínima en los suelos alcalinos. Así, en suelos que tienen pH mayor de 6,0, se registran con frecuencia, graves deficiencias de Zn. Ciertos suelos ácidos pueden contener niveles tóxicos de este nutriente.

La disminución de pH, de 7 a 4,5, aumenta la fracción intercambiable, pero disminuye la fracción de Zn unida al carbonato y al óxido de Fe-Mn; no varía la fracción orgánica y residual. Se demostró que esta disminución produce un aumento de la concentración del metal en la hoja y en el tallo, disminuyendo el rendimiento en materia seca y mantiene igual la tasa de absorción de metales intercambiables, en plantas cultivadas en macetas durante 30 días (Xian y Shokohifard 1989, Fageria y Zimmermann 1998). El encalado disminuye la disponibilidad de Zn, probablemente por el aumento del pH (Cardona et al. 1995). Cuando el pH del suelo se incrementa a más de 6 en un Oxisol, el aumento en una unidad de pH puede reducir la concentración del Zn en la solución del suelo alrededor de 100 veces (Fageria et al. 1995).

En consecuencia, las prácticas de manejo que aumentan o disminuyen el pH

del suelo influyen en la disponibilidad de Zn (Katyal y Randhawa 1985, Cardona et al. 1995).

- ***Residuos y materia orgánica***

Las raíces de las plantas y los microorganismos ejercen un profundo efecto en los procesos químicos del suelo. Los microorganismos liberan Zn durante su descomposición y lo inmovilizan cuando es incorporado en sus organismos (Gupta 1995). El Zn disponible es directamente proporcional a la flora microbiana. En consecuencia, el grado de colonización de micorrizas vesículo arbusculares, en estadios tempranos de crecimiento del cultivo, es importante para determinar la disponibilidad de Zn (Marschner 1990). Si se incorporan valores de actividad biológica como complemento a los análisis químicos de suelos, se puede obtener una mejora en el diagnóstico e interpretación de los resultados (Hamilton et al. 1993).

Las raíces vegetales segregan H^+ , agentes quelantes y compuestos reducidos, que causan cambios microambientales e influyen en la solubilidad del metal.

El Zn disponible es directamente proporcional a la materia orgánica del suelo. Alrededor del 60 % de este ión forma complejos con la materia orgánica soluble (Hamilton et al. 1993).

1.2. Diagnóstico de la disponibilidad de cinc en el suelo

El diagnóstico de la disponibilidad de Zn en el suelo es una herramienta efectiva para determinar la posibilidad de la deficiencia antes que el cultivo sea implantado (Gupta 1995).

La disponibilidad del nutrimento para las plantas requiere de la realización de un análisis de suelo. Las determinaciones analíticas de las formas de Zn disponibles se diferencian, principalmente, por los extractantes utilizados en cada una de ellas. Los de uso más común se enumeran en la Tabla 1.1. Estos métodos pueden ser usados en un amplio rango de tipos de suelos y necesitan ser calibrados, para cada tipo de suelo y cultivo.

**Tabla 1.1. Extractantes para Zn de uso común en el análisis de suelo
(Katyal y Randhawa 1985)**

Extractante	Razón suelo:extractante		Tiempo de agitación (minutos)
	(g)	(ml)	
Ditizona 0,01 % en CCl ₄ + NH ₄ Ac N (pH 7,0)	2.5	50 (25 ml de c/reactivo)	60
DTPA 0,005 M + TEA 0,1 M + CaCl ₂ 0,01 M	10	20	30
EDTA 0,05 M (pH 7 - 9)	15	75	3 extracc. sucesivas de 25 ml c/u
HCl 0,05 N + 0,025 N H ₂ SO ₄	5	20	5
HCl 0,1 N	2	20	5
MgCl ₂ 2 N	10	50	45

Inicialmente, se utilizó el extractante HCl 0,1 M, desarrollado como test para análisis de un solo elemento por Wear y Sommer (1948). Más tarde, se iniciaron extracciones simultáneas de micronutrientes, con el uso del extractante DTPA-TEA (ácido dietilén triamino pentacético - trietanolamina) para Cu, Fe, Mn y Zn, desarrollado por Lindsay y Norvell (1969). Actualmente, el desarrollo de los análisis de suelo está direccionado hacia la extracción simultánea de micro y macronutrientes (métodos multivalentes), por mayor rapidez y menor costo por muestra. Este es el caso de los métodos Mehlich-I, Mehlich-III y DTPA-AB (ácido dietilén triamino pentacético-NH₄HCO₃) por Mehlich (1984) y Soltanpour (1991) (Sparks 1996).

Las extracciones a base de ácidos resultan poco satisfactorias para suelos

calcáreos de regiones áridas y semiáridas. En estos casos, se sugiere el empleo de agentes quelantes, como DTPA y EDTA, resultan relativamente más satisfactorios en una amplia variedad de suelos (Katyal y Randhawa 1985). Así, la extracción en base a DTPA es el método más usado, correlacionando también con los vegetales (Sims y Johnson 1991; Gupta 1995).

Una vez extraído el Zn de la muestra de suelo, se procede a su determinación. Ello se realiza por diversos métodos, son usados con mucha frecuencia los colorimétricos. Actualmente, estos son remplazados por técnicas de espectrofotometría de absorción atómica y espectrometría de emisión de plasma, que son más rápidas, precisas y sencillas.

Para interpretar los resultados, se debe comparar con los niveles o rangos críticos, que permiten separar los suelos dentro de dos categorías: insuficientes y suficientes o normales (Sparks et al. 1996).

Los límites críticos varían, según los cultivos, de acuerdo con la sensibilidad diferencial de estos al estrés de Zn y con las condiciones locales del suelo y del ambiente. Lo ideal es calibrarlos en macetas y a campo, en cada sitio. A pesar de las variaciones detectadas entre cultivos y suelos, en la India y en EE.UU., consideran un único rango de valores para la interpretación agronómica (Katyal y Randhawa 1985) (Tabla 1.2).

1.4.4. POROTO

El poroto es una planta que pertenece al Orden *Rosales*, Familia *Leguminosae*, Subfamilia *Papilionoidae*, Género y Especie *Phaseolus vulgaris*.

Tabla 1.2. Niveles críticos de Zn extraíble del suelo por diferentes métodos.

Método	Rango crítico (mg de Zn kg ⁻¹)	Cita
DTPA-AB	0,5 - 1,0	Sims and Johnson 1991
Ditizona + NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂	0,3 - 2,3	Lorenz y Mainard 1980
DTPA	0,6 - 1,0	Katyal y Randhawa 1985
	0,6	Gupta 1995
DTPA + CaCl ₂ (pH 7,3)	0,5 - 1,0	Lorenz y Mainard 1980
EDTA + (NH ₄) ₂ CO ₃	1,4 - 3,0	Lorenz y Mainard 1980
HCl 0,1 N	1,0 - 7,5	Lorenz y Mainard 1980
Valores de Zn agregados a arena en maceta	2,5 - 12,5	Haddad 1994
Mehlich-I	0,5 - 3,0	Sims y Johnson 1991
Mehlich-III	1,0 - 2,0	Sims y Johnson 1991

1.4.1. Tipos de poroto

Existen diferentes tipos comerciales de poroto, que se distinguen por su color, tamaño y forma. Así están los blancos grandes o tipo alubia, los blancos pequeños o tipo *navy bean*, los negros, cariocas, rojos y otros (Failde et al. 1995) (Foto 1.2).

Foto 1.2. Diferentes tipos comerciales de poroto

1.4.2. Hábitos de crecimiento del poroto

El poroto posee cuatro diferentes hábitos de crecimiento. En la Argentina, se cultivan para grano seco, principalmente los de hábito tipo I y II. Los porotos alubias son hábito I y los *navy bean* y negros tipo II (Figura 1.1 y 1.2). Existen

dos tipos más de hábitos de crecimiento: el tipo III, indeterminado postrado y el tipo IV, indeterminado trepador.

Figura 1.1. Planta de poroto de hábito tipo I.



Figura 1.2. Planta de poroto de hábito tipo II.



El tipo I se caracteriza (CIAT 1985) por tener: tallo y ramas terminadas en una inflorescencia desarrollada, que detiene el crecimiento de los mismos. El tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos, de 5 a 10, comúnmente cortos. La altura varía entre 30 y 50 cm. La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo. Por ser de ciclo corto, son exigentes en sus requerimientos nutricionales.

El tipo II se caracteriza (CIAT 1985) por poseer: tallo erecto, sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía corta, las ramas no producen guías. Tienen pocas ramas pero en número superior al tipo I y generalmente cortas con respecto al tallo, los nudos del tallo son, generalmente, más de 12. Como todas las plantas de tipo indeterminado, continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor.

1.4.3. Etapas de desarrollo del poroto

El ciclo biológico de la planta de poroto se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva. Se han identificado 10 etapas de desarrollo, las que están delimitadas por eventos fisiológicos importantes (CIAT 1985).

Esquema 1.2. Duración de las etapas de desarrollo de plantas de poroto de hábito tipo I y II (CIAT 1985)

	Germinación	Emergencia	Hojas primarias	1° hoja trifoliada	3° hoja trifoliada	Prefloración	Floración	Formación de vainas	Llenado de vainas	Maduración	
HÁBITO	V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9	
TIPO I	5	2	4	5	7	9	4	8	18	15	Días
TIPO II	5	3	4	8	7	11	4	8	19	14	Días
	FASE VEGETATIVA					Formación de estructuras vegetativas					
						FASE REPRODUCTIVA					
	Siembra					1° botón floral o 1° racimo				15 % humedad semilla (madurez de cosecha)	

Entre los factores más importantes que afectan la duración de las etapas de desarrollo del poroto, se incluyen el genotipo y el clima. Existen otros factores,

como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas.

La plantas de hábito tipo I y II cumplen su ciclo, en Salta y Jujuy, en un lapso de tiempo que oscila entre 90 y 110 días, desde la siembra a la cosecha (Esquema 1.2).

1.4.4. Componentes de rendimiento

Los componentes de rendimiento se pueden definir a través de un conjunto de características, de forma tal que, cuando ellas se multiplican, su producto es igual al rendimiento. Para poroto, los componentes referidos a unidad de área (White 1989) pueden ser definidos como:

Ec 1.1

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso de la semilla} \times \text{Semillas por vaina} \times \text{Vainas por nudo} \times \text{Nro. de nudos por m}^2$$

Si se expresan por planta (García Medina 1991), la ecuación es:

Ec 1.2

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso de la semilla} \times \text{Semillas por vaina} \times \text{Vainas por planta}$$

La estrategia más simple para aumentar la productividad a través de la selección por componentes de rendimiento, plantea la posibilidad de aumentar un componente sin modificar a los otros, debiendo entonces aumentar el rendimiento final. Esto, aparentemente, en teoría es algebraicamente correcto. Pero en la práctica, los estudios de variación de los componentes en diferentes genotipos, muestran generalmente que para pares de componentes cuyos productos son iguales (peso de la semilla x número de semillas por m²), la correlación dentro del par es negativa. Este efecto ha sido denominado “compensación de los componentes de rendimiento”, y es atribuido al crecimiento compensatorio que

influye en la distribución de los recursos limitantes del rendimiento, afectados por factores genéticos y ambientales. La principal implicancia de este proceso es que la selección por un nivel alto de un componente no conducirá probablemente, al aumento del rendimiento. El aceptar, que los componentes de rendimiento se compensan entre sí, no necesariamente significa eliminar la posibilidad de identificar una combinación óptima de componentes que povoque un aumento de rendimiento (White 1989).

Los componentes podrían ser el peso y la cantidad de semillas (Ecuación 1.3); estos son de correlación negativa.

Ec 1.3

Rendimiento=Peso de la semilla x Semillas por planta
--

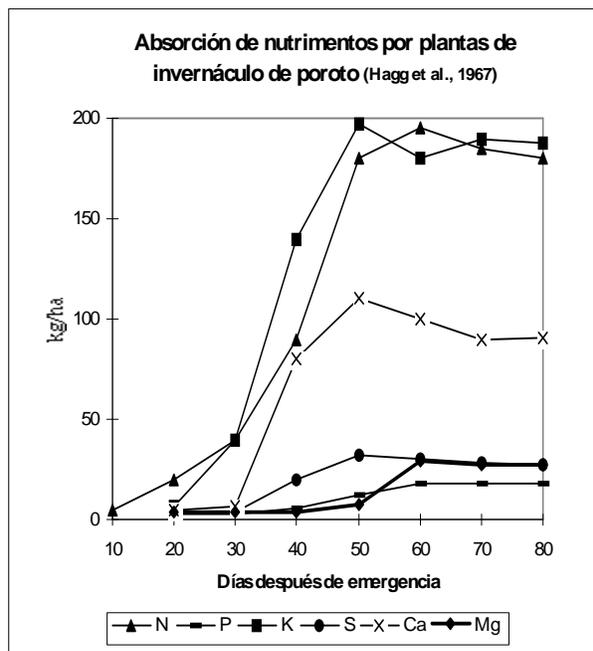
1.4.5. Poroto, nitrógeno y cinc

En el NOA, la fertilización del poroto con N ha dado resultados positivos en el rendimiento, la fuente comúnmente utilizada es urea y la dosis más empleada es de 50 kg N ha⁻¹ (Figuroa, 1999).

Los nutrimentos se absorben en distintas proporciones durante el ciclo de cultivo. De acuerdo a la curva de absorción, el momento oportuno de aplicación de fertilizantes nitrogenados es en V3 primera hoja trifoliada (Malavolta 1980), que coincide con los 14 días posteriores a la emergencia de la plántula (Figura 1.3).

Hay escasos trabajos que han mencionado efectos sinérgicos o antagónicos entre Zn y N (Ibrikci y Moraghan 1993, Alloway 1995, Blaylock 1995). Este efecto está relacionado con la formas de los fertilizantes nitrogenados, así las

Figura 1.3. Curvas de absorción de macronutrientes de poroto (CIAT 1994)



formas amoniacales causan decrecimiento en el pH del suelo fundamentalmente en la rizósfera por la absorción preferencial de NH_4^+ por los microorganismos. Este comportamiento incrementó la disponibilidad de Zn en poroto (Thomson et al. 1993, Moraghan 1996). Por el contrario, se corroboró que plantas de poroto fertilizadas con KNO_3 (200 mg kg^{-1} de suelo) resultaron más susceptibles a la deficiencia de Zn, incluso que plantas de soja que habían recibido la misma fertilización.

2.5.HIPÓTESIS

- Los suelos de la región productora de Salta y Jujuy son deficientes en Zn y la fertilización con este nutriente conjuntamente con la aplicación de N influye positivamente sobre el rendimiento del cultivo de poroto

2.6.OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis son:

- caracterizar el contenido de Zn de los suelos de la región productora de cultivos extensivos de Salta y Jujuy hasta nivel taxonómico de Subgrupo,
- establecer el efecto de diferentes dosis de fertilización con Zn y N sobre los componentes del rendimiento y la materia seca de parte aérea y raíz, y
- determinar la interacción de Zn con la fertilización nitrogenada.

CAPÍTULO 2

MATERIALES y MÉTODOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Analizando el Mapa de Suelos de la Región Productora de Explotación Extensiva de la zona de cultivo de poroto en Salta y Jujuy se establece que predominan los Haplustoles y Argiustoles, típicos y údicos (INTA 1990, Vargas Gil 1999), cuya descripción se detalla a continuación:

Argiustoles típicos

Estos suelos están caracterizados por una secuencia de horizontes: A, B_t, BC, C_k. El epipedón (A) corresponde a un horizonte mólico, medianamente oscuro, el horizonte B_t es argílico bien expresado y aparecen carbonatos libres en el perfil debajo de los 50 cm. Son suelos desarrollados sobre acumulaciones de material loésico, la textura superficial y subsuperficial es franca.

Argiustoles údicos

Presentan la siguiente secuencia de horizontes: A, B_t, BC, C. El horizonte superficial es un epipedón mólico oscuro bien estructurado, el B_t es argílico estructurado en prismas regulares, por debajo de los 80 cm aparecen carbonatos libres en la masa del suelo. Son suelos desarrollados sobre sedimentos loésicos y aluviales de textura superficial franca y subsuperficial franco-arcillosa.

Haplustoles típicos

Los Haplustoles típicos presentan la siguiente secuencia de horizontes: A, B_w, BC_k, C_k. Tienen epipedón mólico y horizonte cámbico. Aparecen carbonatos libres desde los 50 cm de profundidad y están desarrollados desde un material loésico, la textura superficial es franca y la subsuperficial franco-arcillo-limosa.

Haplustoles údicos

Los horizontes característicos de estos suelos son: A, B_w, BC, C. Tienen epipedón mólico y horizonte cámbico. Los carbonatos libres aparecen por debajo de los 80 cm de profundidad. Son suelos desarrollados sobre sedimentos loésicos, de textura superficial y subsuperficial franca.

Para caracterizar dichos suelos se recorrió el área y se extrajeron muestras del horizonte Ap de 19 fincas ubicadas en cinco departamentos de Salta (Orán, Rosario de la Frontera, Anta, General San Martín, Candelaria) y en uno de Jujuy (Santa Bárbara). En la Figura 2.1 se observa la región productora de cultivos extensivos y la ubicación de los lugares de extracción de las muestras de suelo ponderadas por cantidad de muestras tomadas.

Durante el proceso de recolección y manipuleo de muestras se tomaron todos los recaudos pertinentes para evitar contaminaciones (Westerman 1990, Sparks et al. 1996). Se realizaron análisis físicos y químicos de las muestras de suelo en el Laboratorio Central de Análisis de la EEA Salta y las determinaciones obtenidas fueron analizadas estadísticamente mediante un análisis multivariado empleando la técnica de coordenadas discriminantes con el Proc Candisc (SAS, 1996).

3.2. ENSAYO EXPERIMENTAL EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO

Se realizó un ensayo en macetas ubicadas en un invernáculo experimental de la EEA Salta, INTA (Lat. 24° 54' S – Long 65° 29' O-1250 msnm) en dos tipos diferentes de suelos: Haplustol údico con niveles suficientes de Zn (Suelo 1, Campichuelo - Salta) y Argiustol típico con niveles deficientes de Zn (Suelo 2, Rosario de la Frontera - Salta); Tabla 2.1 y Figura 2.1.

Tabla 2.1 Análisis físico-químicos de los suelos utilizados en el ensayo de invernáculo.

Propiedades	Suelo 1 Haplustol údico		Suelo 2 Argiustol típico	
	Media	Desvío	Media	Desvío
Arena (%)	70	1,48	42	2,51
Limo (%)	23	1,41	37	1,67
Arcilla (%)	7	1,10	22	1,22
Textura	Franco Arenoso		Franco	
Peso Específico Aparente (PEA) (g ml ⁻¹)	1,59	0,01	1,41	0,01
Contenido Hídrico Saturación (CHS) (%)	23	0,55	36	1,10
C oxidable (g kg ⁻¹)	8,70	0,20	11,90	0,50
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	15,00	0,30	20,50	0,90
N total (g kg ⁻¹)	0,90	0,10	1,10	0,10
P extraíble (mg kg ⁻¹)	43	4,64	17	1,22
Calcio Intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	6,10	0,35	11,46	0,09
Magnesio (cmol _c kg ⁻¹)	0,92	0,29	2,38	0,08
Potasio (cmol _c kg ⁻¹)	1,11	0,03	1,74	0,05
Sodio (cmol _c kg ⁻¹)	0,58	0,04	0,88	0,04
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	16,10	0,07	19,22	0,08
Carbonato de Calcio y Magnesio (%)	0,00	.	0,00	.
pH en pasta	6,52	0,18	5,98	0,04
Conductividad Electr. del extracto (dS m ⁻¹)	0,88	0,60	0,69	0,04
Zn DTPA (mg kg ⁻¹)	1,60	0,02	0,42	0,13
Cu DTPA (mg kg ⁻¹)	0,43	0,02	1,04	0,50
Fe DTPA (mg kg ⁻¹)	6,24	0,31	4,67	0,15
Mn DTPA (mg kg ⁻¹)	13,35	0,18	29,81	3,50

Estos dos suelos se seleccionaron en base a los datos recabados en la caracterización de los mismos, teniendo en cuenta que presentaran diferentes

contenidos de Zn de acuerdo a los umbrales críticos mencionados por Gupta (1995) y localizados en diferentes zonas productoras de poroto.

El ensayo en invernáculo fue realizado con la finalidad de lograr condiciones bien controladas y con ello obtener la precisión necesaria para poder detectar diferencias entre los tratamientos de fertilización con Zn y N. Al unificar las condiciones externas de suelos de dos regiones productivas permite ver el comportamiento de los mismos sin los efectos confundidos de la matriz ambiental cambiante.

El diseño del ensayo para cada suelo consistió en 8 tratamientos totalmente aleatorizados con arreglo factorial completo (2x4) con cinco repeticiones. Los factores estudiados fueron: 2 dosis de N-urea y 4 dosis de Zn-ZnSO₄ (Tabla 2.2). Totalizando 40 unidades experimentales para cada suelo.

Tabla 2.2. Dosis equivalentes de Zn y N para las unidades experimentales

Factor	Nivel	Dosis (kg ha ⁻¹)	Equivalencia de dosis	
			Suelo 1 (Haplustol údico) (mg kg ⁻¹)	Suelo 2 (Argiustol típico) (mg kg ⁻¹)
N	0	0	0	0
	1	50	15,90	18,18
	0	0	0	0
Zn	1	5	1,59	1,82
	2	10	3,18	3,64
	4	20	6,36	7,27

El ensayo fue conducido en macetas con una capacidad de 5 litros donde se sembró poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Alubia. El volumen elegido garantizó que las plantas lleguen a cosecha evitando que la cantidad de tierra produzca efectos de sobreestimación en los resultados (comunicación personal, Dra. Sui Mui Tsai 1998). Las macetas fueron sometidas a una rotación diaria para

controlar los probables gradientes térmicos, de humedad relativa ambiente, luz, entre otros (Fotos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4).

Los contenedores fueron llenados con tierra extraída del horizonte Ap de cada suelo, zona de mayor densidad media de raíces activas para este cultivo, (Tabla 2.1) y se sembraron 4 semillas por maceta. Se raleó en el estadio de hojas cotiledonares (V1) dejando 1 planta por recipiente de similar vigor y crecimiento para uniformar todo el ensayo y evitar la pérdida de unidades experimentales.

Los fertilizantes se agregaron por fertirrigación midiendo las dosis en volúmenes de una solución madre y diluyéndolos a 100 ml por recipiente. Se aplicaron en un solo momento, el Zn en presiembrado y el N en primer trifolio (Ortega 1999).

El suelo se mantuvo con un contenido de agua disponible no menor al 70% determinado por gravimetría.

3.3.DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Sobre las muestras de material vegetal se realizó la determinación de N por semimicro-Kjeldahl (Page et al. 1982) y de Zn mediante una digestión vía ácida con nítrico-perclórico en relación 9:4 (v/v) y posteriormente se evaluó la concentración de la fracción total del metal por espectrofotometría de absorción atómica (Gupta 1995).

Para la caracterización de los suelos de la zona de producción se determinó:

Textura: se empleó la técnica de Bouyoucos (1962) para cuantificar los porcentajes de partículas primarias (arena, limo y arcilla). Se expresa en



Foto 2.1. Ensayo de poroto Alubia en estado fenológico V3.

Foto 2.2. Estado fenológico V4.



Foto 2.3. Estado fenológico R5

Foto 2.4. Estado fenológico R9



porcentaje de las fracciones.

Contenido hídrico a saturación: en la pasta de suelo a saturación se determinó gravimétricamente el contenido de humedad. Se expresa en % p/p.

Conductividad eléctrica específica: en el extracto acuoso de la pasta saturada (SAMLA-SAGyP 1995). Se expresa en dS m^{-1} .

pH: en pasta saturada. Método: potenciométrico.

Carbonato de Ca y Mg: determinado por liberación de CO_2 (Richter 1980). Se expresa en %.

Carbono oxidable: por oxidación en vía húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico (Page et al. 1982). Se expresa en g kg^{-1} .

Nitrógeno Total: por Kjeldhal (Page et al. 1982). Se expresa en g kg^{-1} .

Fósforo extraíble: por Bray-Kurtz I (Page et al. 1982). Se expresa en mg kg^{-1} .

Potasio Intercambiable: se extrajo con acetato de amonio 1,0 N a pH 7,0 y fue determinado por fotometría de llama (SAMLA-SAGyP 1990). Se expresa en $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Cinc: se obtuvo la fracción extraíble con DTPA-TEA (ácido dietilén triamino pentacético - trietanolamina) y el metal se ha determinado por espectrofotometría de absorción atómica (Gupta 1995). Se expresa en mg kg^{-1} .

Los suelos colocados en las macetas fueron analizados determinándose las variables mencionadas anteriormente a las que se suman:

Peso específico aparente (PEA): se utilizaron recipientes de volumen conocido (1000 cm^3) y se pesó el suelo seco a estufa, contenido en ellos. Se expresa en g ml^{-1} .

Capacidad de intercambio catiónico: se realizó con acetato de amonio 1 N pH 7

(SAMLA-SAGyP 1990). Se expresa en $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Calcio y Magnesio Intercambiables: extracción con acetato de amonio 1,0 N a pH 7,0. Se expresa en $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Sodio intercambiable: fue extraído con acetato de amonio 1,0 N, pH: 7,0 y fue determinado por fotometría de llama. Se expresa en $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ suelo seco. Se calculó su porcentaje (PSI) en base a la capacidad de intercambio de intercambio catiónico. Se expresa en porcentaje.

Cobre, Hierro y Manganeso: se extrajo la fracción extraíble con DTPA-TEA (ácido dietilén triamino pentacético- trietanolamina) y los metales se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Gupta 1995). Se expresa en mg kg^{-1} .

3.4.VARIABLES RESPUESTA

- *Producción de materia seca (planta)*

Se evaluó mediante:

Peso seco de granos (PSGRANOS): se cosecharon todos los granos de cada planta y se secaron en estufa a 50°C hasta peso constante y se determinó su peso en gramos.

Peso seco de la parte aérea (PSAEREA): se recolectaron para cada planta los órganos abscisionados -las hojas senescentes (en proceso de abscisión), las vainas y flores abortadas- durante el ciclo de cultivo y se fueron secando en estufa a 50°C . A ellas se les agregó la planta extraída en cosecha cortada por el cuello más las vainas vacías, también secas a estufa.

Peso seco de raíces (PSRAIZ): al cosechar los granos, luego de extraer la parte aérea de la planta, se sacaron las raíces, se lavaron sobre una malla plástica por

inmersión en agua destilada y se secaron en estufa a 50 °C hasta peso constante.

Peso seco total (PSTOTAL): $PSTOTAL = PSGRANOS + PSAEREA + PSRAIZ$

Índice de Cosecha (IC): $IC = PSGRANOS / PSTOTAL$

- ***Componentes de producción***

Granos por vaina (GRAVAIN): $GRAVAIN = NGRANOS / NLLENAS$

Cantidad total de granos (NGRANOS): se contaron todos los granos de cada planta.

Cantidad de vainas llenas (NLLENAS): se contaron todas las vainas que tenían por lo menos un grano.

Cantidad de vainas vanas (NVANAS): se contaron todas las vainas abscionadas y que no tenían granos en el momento de la cosecha.

Cantidad de vainas totales (NTVAINAS): $NTVAINAS = NLLENAS + NVANAS$

Gramaje (GRAMAJE): $GRAMAJE = 100 \cdot PSGRANOS / NGRANOS$

Indica el tamaño de la semilla y en porotos blancos tipo Alubia es un indicador de calidad ya que se comercializa teniendo en cuenta esta característica.

- ***Concentración de nutrimentos***

Se evaluó la concentración de N en:

N en granos (GN): se determinó químicamente la concentración de N total en los granos. Se expresa en porcentaje.

N en parte aérea (PLN): se determinó químicamente la concentración de N total en tallos, hojas y vainas vacías. Se expresa en porcentaje.

N en raíces (RN): se determinó químicamente la concentración de N total en las raíces. Se expresa en porcentaje.

Se evaluó la concentración de Zn en:

Zn en granos (GZN): se determinó químicamente la concentración de Zn total en los granos. Se expresa en mg kg^{-1} .

Zn en parte aérea (PLZN): se determinó químicamente la concentración de Zn total en la parte aérea de la planta. Se expresa en mg kg^{-1} .

Zn en raíces (RZN): se determinó químicamente la concentración de Zn total en las raíces. Se expresa en mg kg^{-1} .

- ***Absorción de nutrimentos***

La absorción de N se expresó en mg pl^{-1} y se determinó en:

N en granos (TGN): $\text{TGN} = \text{GN} \cdot \text{PSGRANOS} \cdot 10$

N en parte aérea (TPAN): $\text{TPAN} = \text{PLN} \cdot \text{PSAEREA} \cdot 10$

N en raíces (TRN): $\text{TRN} = \text{RN} \cdot \text{PSRAIZ} \cdot 10$

N total (TN): $\text{TN} = \text{TGN} + \text{TPAN} + \text{TRN}$

La absorción de Zn se expresó en $\mu\text{g pl}^{-1}$ y se determinó en:

Zn en granos (TGZN): $\text{TGZN} = \text{GZN} \cdot \text{PSGRANOS}$

Zn en parte aérea (TPAZN): $\text{TPAZN} = \text{PLZN} \cdot \text{PSAEREA}$

Zn en raíces (TRZN): $\text{TRZN} = \text{RZN} \cdot \text{PSRAIZ}$

Zn total (TZN): $\text{TZN} = \text{TGZN} + \text{TPAZN} + \text{TRZN}$

Las variables determinadas en los suelos fueron hechas por quintuplicado y sobre el material vegetal se trabajó por triplicado, ambos resultados fueron expresados en base a suelo seco (105°C) o material seco vegetal (50°C). Las variables de producción de materia y sus componentes fueron evaluadas por quintuplicado.

3.5.METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Se realizó el análisis exploratorio de datos para la comprobación de los supuestos del análisis de varianza. El mismo consistió en el estudio de la distribución aleatoria, independiente y normal de los términos del error mediante el Proc Univariate del SAS. La homogeneidad de varianzas de los tratamientos fue corroborada mediante la prueba de Levene con el Proc GLM y el estudio de la correlación de la media con los desvíos se realizó gráficamente mediante el Proc Plot (SAS 1996).

El estudio confirmatorio de datos se centró en el análisis de la varianza y la comparación de medias con pruebas de F planeadas para el estudio de los factores y sus interacciones, comparaciones de dosis y de tendencia con contrastes ortogonales mediante Proc Anova y GLM del SAS (Apéndice, Anexo 1 y 2).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS y DISCUSIÓN

3.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ZONA PRODUCTORA DE POROTO

Los contenidos de Zn de los Molisoles de la zona productora de poroto variaron entre 0,27 y 2,86 mg kg⁻¹, con una media de 1,28 ± 0,78 (Tabla 3.1). Las propiedades identificadas para cada uno de los 19 suelos se presentan en el Anexo 1.

Tabla 3.1. Medias y desvíos de las determinaciones analíticas de los suelos de producción de poroto de Salta y Jujuy

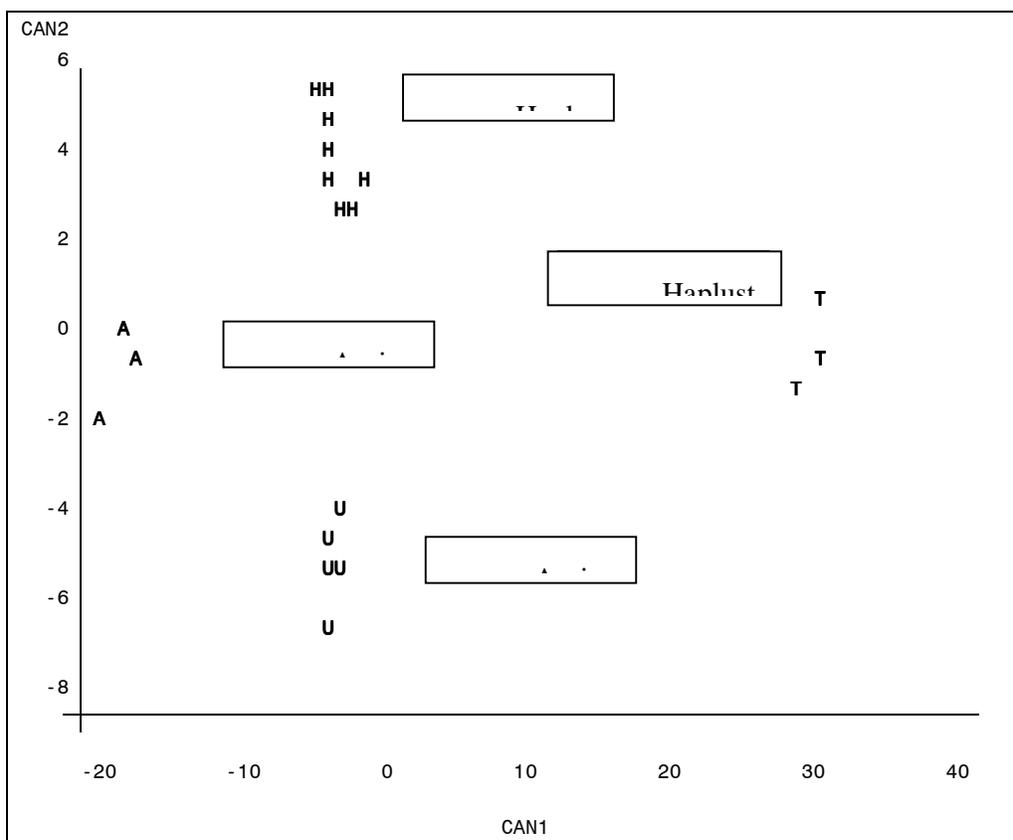
Variables	Haplustol típico	Haplustol údico	Argiustol típico	Argiustol údico	Análisis General
Zn DTPA (mg kg ⁻¹)	0,39	1,70	0,55	1,57	1,28
	± 0,14	± 0,76	± 0,19	± 0,47	± 0,78
Arena (%)	48	66	42	38	52
	± 19,09	± 9,43	± 5,77	± 3,05	± 15,58
Limo (%)	37	24	37	33	31
	± 11,27	± 8,04	± 2,52	± 9,40	± 9,75
Arcilla (%)	15	10	21	29	18
	± 8,08	± 2,31	± 3,61	± 7,05	± 9,14
Contenido Hídrico a Saturación (%)	33	25	33	49	34
	± 8,72	± 2,71	± 5,69	± 8,51	± 11,48
pH en pasta	7,30	6,68	6,40	7,04	6,83
	± 0,20	± 0,29	± 0,69	± 0,79	± 0,56
CE del extracto (dS m ⁻¹)	0,55	0,68	0,83	0,82	0,72
	± 0,17	± 0,28	± 0,20	± 0,35	± 0,27
Carbonato de Ca y Mg (%)	0,53	0,15	0,00	0,92	0,39
	± 0,47	± 0,32	± 0,00	± 0,58	± 0,52
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	17,7	17,1	19,3	31,8	21,4
	± 0,65	± 0,29	± 0,40	± 1,07	± 0,87
N total (g kg ⁻¹)	1,00	1,00	1,10	1,80	1,20
	± 0,40	± 0,20	± 0,20	± 0,60	± 0,50
Relación C/N	10	10	10	10	10
	± 1,00	± 1,13	± 0,58	± 1,79	± 1,18
P extraíble (mg kg ⁻¹)	9	35	26	37	30
	± 1,00	± 19,86	± 17,90	± 7,50	± 17,34
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,99	1,39	1,84	2,04	1,57
	± 0,14	± 0,62	± 0,17	± 0,25	± 0,56

± indica desvío estándar

Por la aplicación del análisis discriminante se obtuvieron 2 coordenadas que explicaron el 97,66% de la varianza total y corroboraron diferencias significativas entre los grupos ($\alpha < 0,05$) con el test de Makalanobis (SAS 1996).

Mediante dicho análisis se distinguieron los cuatro grupos de suelos identificados por las variables Zn, arena, arcilla, capacidad hídrica de saturación, materia orgánica y N con un nivel de significancia de $\alpha < 0,01$ mientras que el contenido de carbonatos y K lo hicieron con un nivel $\alpha < 0,05$. Las variables pH, conductividad eléctrica, relación C/N y P no fueron capaces de identificar diferencias entre grupos (Figura 3.1).

Figura 3.1. Análisis discriminante para los suelos de Salta y Jujuy cultivados con poroto.



Al recorrer la zona, se observaron síntomas de deficiencia de Zn (corroborados por pruebas diagnóstico) en cultivos de poroto en aquellos suelos cuyos contenidos en este nutrimento eran menores de $0,6 \text{ mg Zn-DTPA kg}^{-1}$ (observación personal). Los síntomas observados fueron: presencia de escaso crecimiento de la planta por acortamiento de los entrenudos, aumento en la duración de la etapa fenológica V2, hojas nuevas pequeñas, puntiagudas y cloróticas o de color verde seco.

Los Subgrupos típicos son los que manifestaron deficiencias (Argiustoles típicos con $0,55 \pm 0,19 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ y los Haplustoles típicos con $0,39 \pm 0,14 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) y en los údicos los contenidos de este nutrimento son superiores al umbral crítico (Argiustoles údicos con $1,57 \pm 0,47 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ y los Haplustoles údicos con $1,70 \pm 0,76 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) (Tabla 3.1 y Anexo 1).

El análisis multivariado permitió identificar estos Subgrupos de suelos diferenciándolos por el contenido de Zn, la fracción coloidal, la capacidad de retención de agua y los contenidos de N, K y carbonatos. Cabe destacar que las variables pH, conductividad eléctrica, relación C/N y P no fueron capaces de identificar diferencias entre grupos (Figura 3.1).

3.2.2. ENSAYO EN INVERNÁCULO

Se estudiaron los supuestos para realizar el análisis de varianza. Los suelos poseen heterogeneidad de varianza entre sí, por lo que no pueden ser analizados conjuntamente. Se estudiará en forma separada el comportamiento de cada suelo con respecto al tipo de tendencia de la respuesta de las variables analizadas con respecto a la fertilización.

Todas las variables estudiadas en cada suelo cumplen con los supuestos del análisis de varianza, no hay necesidad de hacer transformaciones (Anexos 2 y 3).

3.2.1.1. Respuesta al Zn y su interacción con N en un Haplustol údico

Los supuestos para el análisis de varianza, el ANVA y los contrastes ortogonales para los datos obtenidos de este suelo se observan en el Anexo 2.

3.2.1. Producción de materia seca y sus componentes

Peso seco de granos

El peso seco de granos respondió en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$) y con N ($\alpha < 0,05$). El peso seco de granos aumenta con las dosis de Zn hasta un máximo en el nivel 2 (Figuras 3.2 y 3.3).

Peso seco de la parte aérea

El peso seco de la parte aérea no respondió a la fertilización con ninguno de los dos nutrientes, siendo la media general de $13,73 \pm 1,17$ g planta⁻¹.

Figura 3.2. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

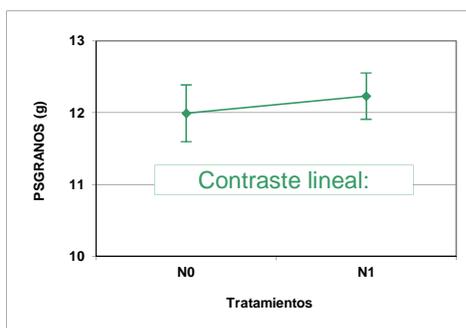
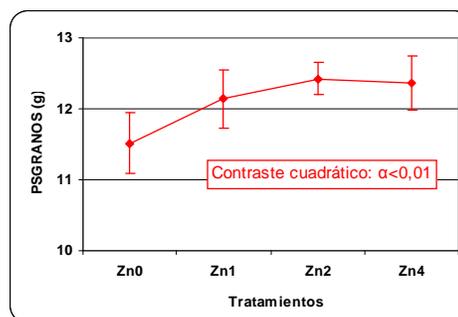


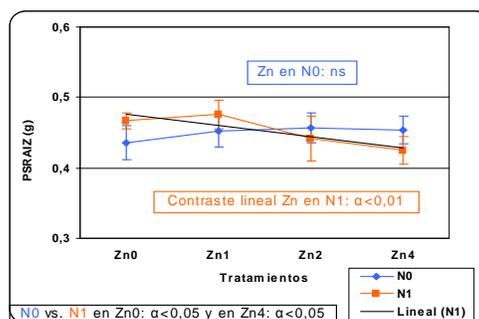
Figura 3.3. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



Peso seco de raíces

El peso seco de raíces presentó interacción Zn y N ($\alpha < 0,05$), aumentando con el agregado de N en ausencia de Zn y disminuyendo con el agregado de Zn en presencia del N (Figura 3.4).

Figura 3.4. Peso seco de raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.



Peso seco total

El peso seco total no respondió a la fertilización con cinc ni nitrógeno. La media general del ensayo fue de $26,29 \pm 1,22$ g planta⁻¹.

Índice de Cosecha

El índice de cosecha respondió en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,05$) y con N ($\alpha < 0,01$) incrementándose el mismo con el agregado de dosis crecientes de Zn (Figuras 3.5 y 3.6).

Figura 3.5. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

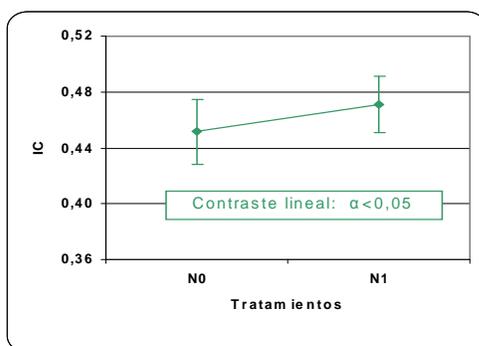
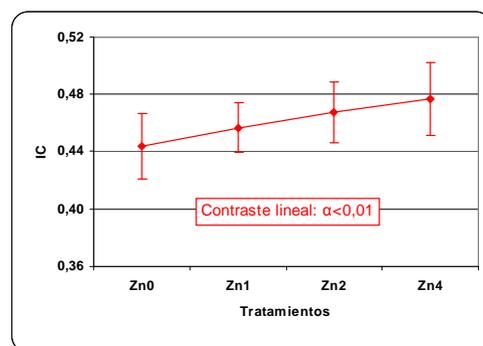


Figura 3.6. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



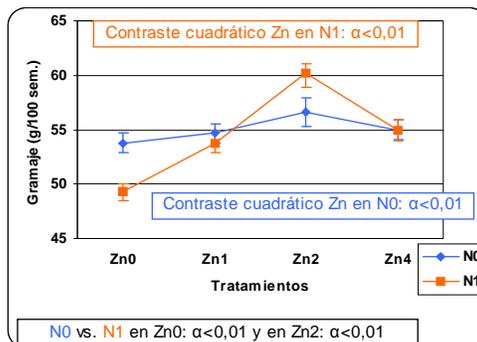
Gramaje

El gramaje respondió ($\alpha < 0,01$) a la interacción Zn y N. El Zn aumentó el tamaño del grano hasta un máximo en el nivel 2 con y sin N. Al agregar N en ausencia de Zn disminuyó el tamaño del grano (Figura 3.7).

Granos por vaina

Los granos por vaina respondieron en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,05$) y con N ($\alpha < 0,01$). La mayor cantidad de granos registrada fue para el nivel 1 de Zn (Figuras 3.8 y 3.9).

Figura 3.7. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.

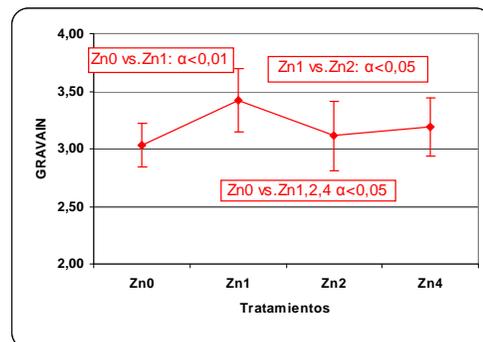


Cantidad total de granos

La cantidad total de granos tuvo interacción significativa entre Zn y N ($\alpha < 0,01$), disminuyendo con las dosis crecientes de Zn cuando se fertilizó con N y aumentando cuando el N no fue adicionado. El agregado de N sin Zn aumentó el número de granos (Figura 3.10).

Figura 3.8. Granos por vaina de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

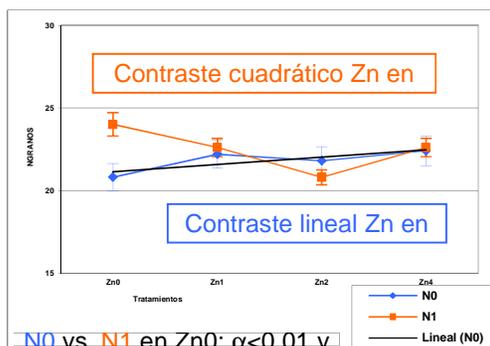
Figura 3.9. Granos por vaina de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



Cantidad de vainas llenas

La cantidad de vainas llenas no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción. La media general del ensayo fue de $7,00 \pm 0,63$ vainas planta⁻¹.

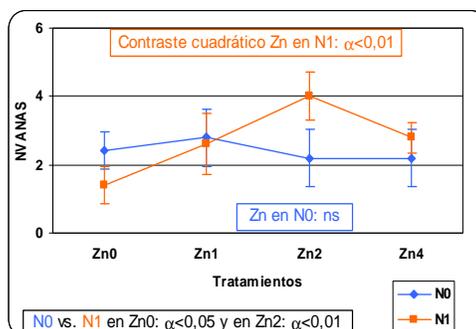
Figura 3.10. Cantidad total de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.



Cantidad de vainas vanas

La cantidad de vainas vanas respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$) y aumentó con las dosis crecientes de Zn más N hasta el nivel 2 de Zn. Sin N no hubo respuesta a la adición de Zn y el agregado de N sin Zn disminuyó el vaneo (Figura 3.11).

Figura 3.11. Vainas vanas por planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.

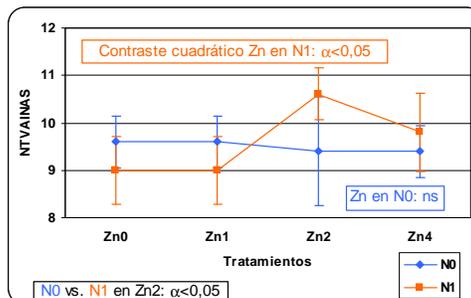


Cantidad de vainas totales

La cantidad de vainas totales respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,05$) y aumentó con las dosis crecientes de Zn más N hasta un máximo en el nivel 2 de

Zn. Sin N no responde al Zn y el agregado de N sin Zn disminuyó la cantidad de vainas (Figura 3.12).

Figura 3.12. Vainas totales por planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.



La producción de materia seca aérea y total de la planta de poroto no respondió a la fertilización con Zn, resultados similares fueron mencionados por Armour et al. (1990), Kalyan-Singh et al. (1992) y Sadiq y Hussain (1994). En este ensayo ambas variables tampoco tuvieron respuesta a la fertilización con N. El peso seco de las raíces respondió a la interacción de Zn y N (Figura 3.4), aumentando el peso de las mismas cuando en el suelo se aplicó sólo fertilización nitrogenada. Cuando se realizó la fertilización mixta disminuyó linealmente el peso a medida que se incrementó el nivel de Zn, estos resultados coinciden con los mencionados por Wallace (1989). El peso seco de granos se incrementó con la fertilización de Zn alcanzó un máximo en la dosis Zn2 con tendencia cuadrática y lineal para N, respondiendo ambos elementos de manera independiente (Figuras 3.2 y 3.3). Respuestas positivas a la fertilización con Zn son mencionadas por MacDonald et al. (1990), Melo et al. (1991) y Soliman et al. (1991). Iyengar y Raja (1988) también encuentran un máximo en la dosis de 10 kg Zn ha⁻¹

fertilizando con $ZnSO_4$. Por el contrario, Wallace (1989), Kalyan-Singh et al. (1992) y Singh et al. (1995) no hallaron efectos sobre esta variable con la adición de Zn.

Cuando se fertilizó independientemente con Zn y N se evidenció una respuesta positiva lineal del índice de cosecha (Figuras 3.5 y 3.6). Evidentemente, el fertilizante influiría en la intensidad de la demanda y en la partición de los fotoasimilados causando aumento en la producción de granos tal como lo indica la variable mencionada.

Referente a los componentes de rendimiento, el número de vainas vanas no varió cuando sólo se aplicó Zn. Sin embargo, cuando se fertilizó con Zn y N se produjo un mayor número de vainas vanas para la dosis de Zn2 (Figuras 3.11). Esto indicaría que hubo competencia entre órganos vegetales porque otro factor pudo haber actuado como limitante en la fuente (White e Izquierdo 1989). Por otra parte, la cantidad de vainas llenas no fue efectiva en detectar las variaciones de rendimiento causadas por la adición del fertilizante. Resultados coincidentes encontraron Kalyan-Singh et al. (1992) y opuestos fueron descritos por García Medina (1991) y Blaylock (1995) quienes determinaron que el número de vainas llenas constituye el principal componente del rendimiento. El número de granos por vaina respondió en forma positiva e independiente a la fertilización de N y Zn alcanzándose el mayor valor con la dosis de Zn1 (Figuras 3.8 y 3.9). Los restantes componentes de rendimiento -el gramaje (tamaño del grano) y el número de granos totales- respondieron a la interacción Zn y N (Figuras 3.7 y 3.10). Estas variables fueron las que definieron mejor el aumento de rendimiento (expresado como peso seco de granos) en el suelo Haplustol údico cuando se fertilizó con Zn

únicamente y sólo el gramaje cuando se le incorporó conjuntamente Zn y N, presentando éste tendencia cuadrática alcanzó un máximo en la dosis Zn². Por lo tanto, la adición de los dos nutrientes al suelo o de Zn solo mejoró la calidad de producto obtenido ya que el tamaño del grano es uno de los parámetros de estándar de calidad de grano procesado para la exportación considerado para fijar su precio (CLERA 2001). Aplicando sólo N disminuyó el tamaño del grano - pasando de la categoría grande (mayor de 52,6 g 100 sem⁻¹) a mediano (entre 52,4 a 45,5 g 100 sem⁻¹)- y aumentó el número de los mismos, mostrándose como variables compensatorias.

White e Izquierdo (1989) demostraron que este tipo de poroto, arbustivo, se caracteriza por tener un corto y rápido período de llenado, alto reparto y removilización de fotosintatos. Si un cultivar acumula fotoasimilados y N durante el crecimiento vegetativo, fundamentalmente, como en este caso cuando la planta ha sido fertilizada con Zn y N, podrá removilizarlo durante el llenado de las vainas. Este efecto jugará un rol importante durante la senescencia y permitirá mejorar los rendimientos. Esto también se corrobora por el incremento de gramaje que se produce cuando el suelo es fertilizado con ambos nutrientes.

3.2.2. Concentración de nutrimentos

La concentración de N se determinó en:

N en granos

La concentración de nitrógeno en granos respondió en forma independiente a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,05$) y con N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó

con el agregado de dosis crecientes de Zn y aumentó al fertilizarse el suelo con N (Figuras 3.13 y 3.14).

Figura 3.13. Contenido de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

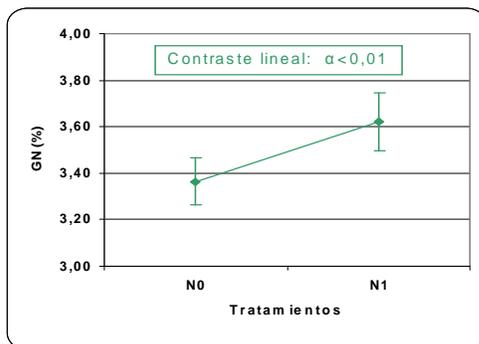
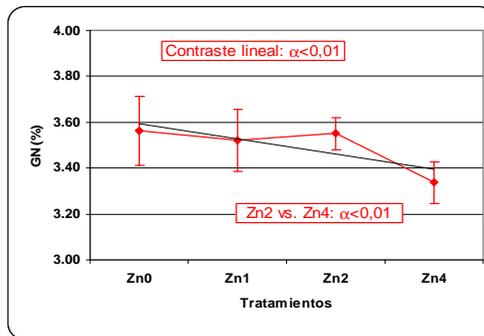


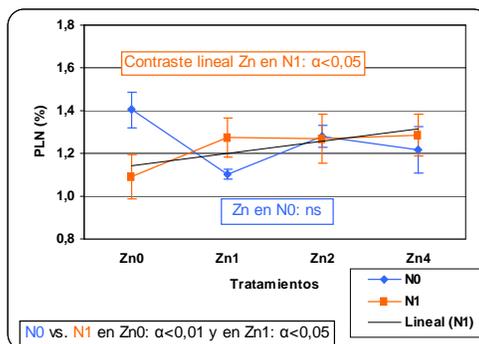
Figura 3.14. Contenido de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



N en parte aérea

La concentración de nitrógeno en parte aérea respondió ($\alpha < 0,01$) a la interacción Zn y N. Aumentó con el agregado de dosis crecientes de Zn cuando se fertilizó con N y no tuvo respuesta cuando no se adicionó N. La fertilización con N sin Zn disminuyó el contenido de N en la parte aérea de la planta (Figura 3.15).

Figura 3.15. Contenido de N en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.



N en raíces

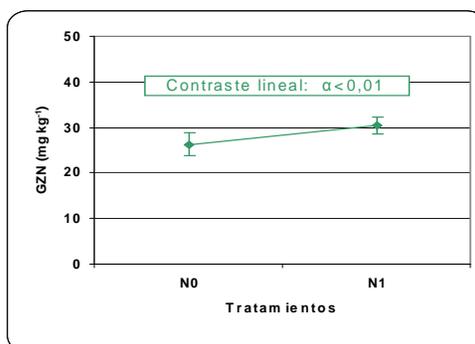
La concentración de N en raíces no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción. La media general fue de $1,74 \pm 0,14 \text{ mg kg}^{-1}$.

La concentración de **Zn** se determinó en:

Zn en granos

La concentración de Zn en granos respondió positivamente a la fertilización nitrogenada (Figura 3.16).

Figura 3.16. Contenido de Zn en los granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N.



Zn en parte aérea

La concentración de Zn en la parte aérea respondió en forma independiente a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$) y con N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con el agregado de dosis crecientes de Zn hasta un mínimo en el nivel 1 del mismo. Al fertilizar con N aumentó la concentración (Figuras 3.17 y 3.18).

Zn en raíces

La concentración de Zn en las raíces respondió en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$) y con N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con el

agregado de Zn hasta alcanzar un máximo en el nivel 1, que se mantuvo

Figura 3.17. Contenido de Zn en la parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

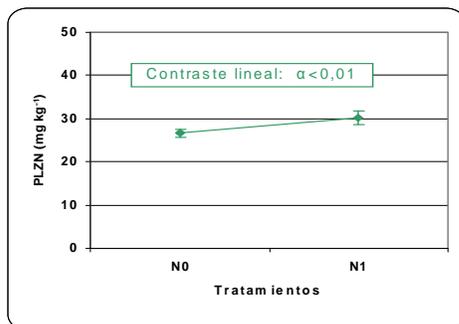
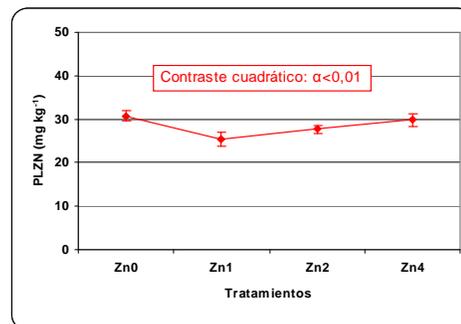


Figura 3.18. Contenido de Zn en la parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



aproximadamente constante hasta el nivel 2 (Figuras 3.19 y 3.20).

Figura 3.19. Contenido de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N

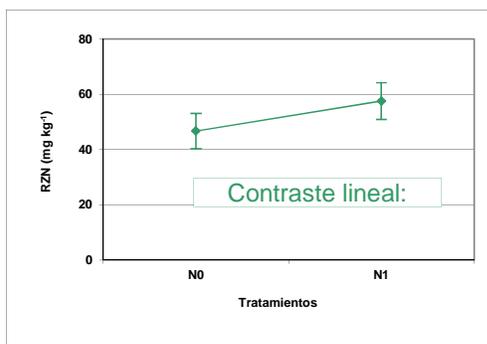
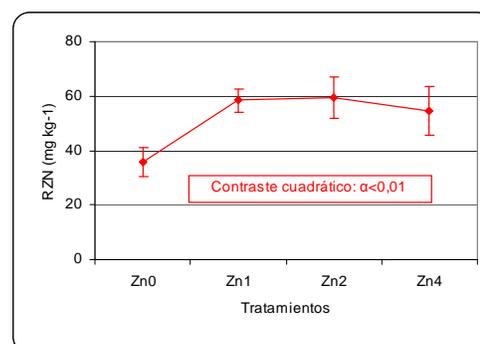


Figura 3.20. Contenido de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.

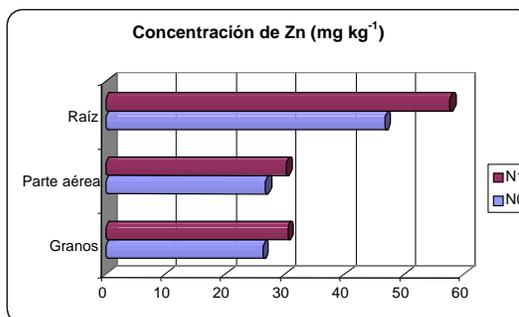


La concentración de Zn aumentó en todos los órganos vegetales cuando se lo fertilizó con N (Figura 3.21).

Al fertilizar con Zn, la concentración en el grano de este elemento no varió. Resultados opuestos fueron hallados por Wallace (1989) y Moraghan

(1996). El contenido de Zn en granos determinado en este estudio fue bajo ($28,35 \pm 2,34 \text{ mg Zn kg}^{-1}$), según lo establecido en la bibliografía internacional ($41,4 \text{ mg Zn kg}^{-1}$; Moraghan 1994), a pesar de aumentar con la fertilización nitrogenada (Figura 3.16).

Figura 3.21. Concentración promedio de Zn en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada

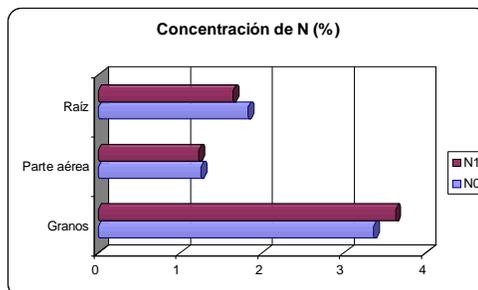


La concentración de Zn en la raíz fue más elevada cuando al suelo se lo fertilizó con Zn, hasta la dosis Zn1, mientras que en la parte aérea la concentración disminuyó hasta un mínimo de Zn1 (Figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20). La incorporación de Zn al suelo parecería que disminuye la eficiencia de traslocación desde la raíz al tallo, ya que este elemento se comporta como parcialmente móvil dentro del vegetal, mecanismo que explicaría los resultados obtenidos (Malavolta 1980, Reis et al. 1992, Ibrikci y Moraghan 1993).

La concentración de N en grano (Figura 3.14) tuvo una respuesta lineal negativa cuando se fertilizó con Zn, resultados similares fueron hallados por Singh et al. (1995). El contraste ortogonal entre no fertilizado y fertilizado con Zn no resultó significativo, diferenciándose negativamente cuando la dosis aplicada

fue de $6,36 \text{ mg kg}^{-1}$ (Zn4). Para este nivel se verificó la disminución de la concentración de N en grano y éste se acumuló en la parte aérea de la planta coincidentemente se produjo menor gramaje y un aumento en el número de

Figura 3.22. Concentración promedio de N en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada



granos (Figuras 3.7, 3.10, 3.14 y 3.15) . Esto indicaría que la dosis máxima de Zn empleada produjo estrés en la planta de poroto.

Con respecto a los valores de contenido de N de los granos de poroto, se consideran valores normales entre $3,68$ y $4,32 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Fili 1997) y en zonas de cultivo en el NOA se encuentran valores para el poroto tipo Alubia entre $2,72$ y $3,68 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Pacheco Basurco et al. 1990). En este ensayo el contenido de N estaría dentro de lo adecuado, aumenta de $3,36$ a $3,62 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ cuando se lo fertiliza con N y en el caso de la fertilización con Zn se mantiene estable hasta la dosis de Zn2 en aproximadamente $3,52 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ y baja a $3,34 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ en la máxima dosis.

La concentración de N en orden decreciente fue: grano, raíz y parte aérea, mientras que para Zn resultó ser raíz, parte aérea y grano. Por lo tanto, podemos

afirmar que el Zn se acumuló en la raíz y el N en el grano (Figuras 3.21 y 3.22).

3.2.3. Absorción de nutrimentos

N en granos

La absorción total de N en granos respondió en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,05$) y con N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con el agregado de dosis crecientes de Zn hasta alcanzar un máximo en el nivel 2 (Figuras 3.23 y 3.24).

Figura 3.23. Absorción de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N.

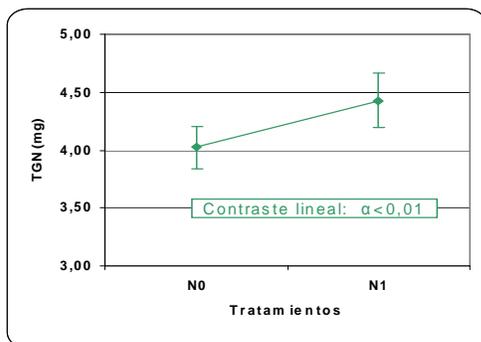
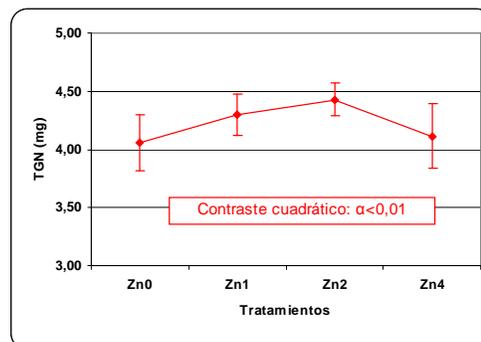


Figura 3.24. Absorción de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



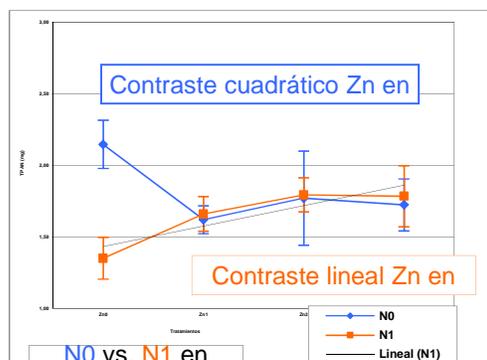
N en parte aérea

La absorción total de N en la parte aérea respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Con el agregado de todas las dosis de Zn aumentó cuando se fertilizó con N y disminuyó cuando éste no fue incorporado al suelo, hasta un mínimo alcanzado para el nivel 1 de Zn (Figura 3.25).

N en raíces

La absorción total de N en raíces no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción. La media general fue de $0,0792 \pm 0,0077$ mg raíz⁻¹.

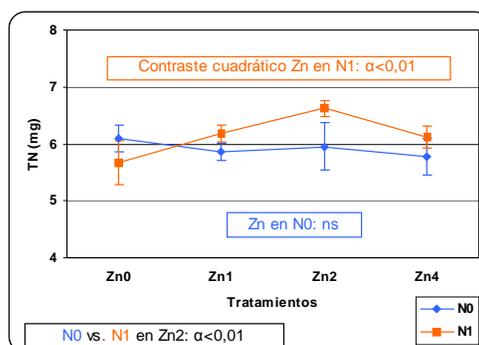
Figura 3.25. Absorción de N en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.



N total en planta

La absorción total de N realizada por la planta de poroto respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,05$), aumentó con las dosis crecientes de Zn más N alcanzando un máximo en el nivel 2 de Zn. Cuando no se fertilizó con N no hubo respuesta a la fertilización con Zn y la incorporación de N sin Zn disminuyó la absorción (Figura 3.26).

Figura 3.26. Absorción total de N de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N.

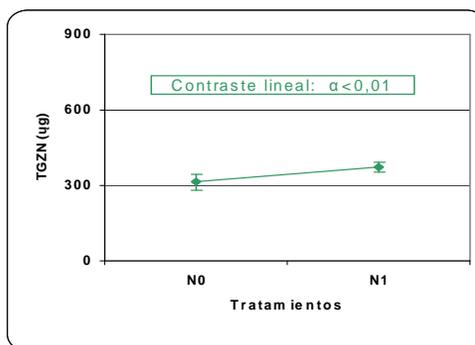


La absorción de **Zn** fue determinada para las siguientes partes del vegetal:

Zn en granos

La absorción total de Zn en granos únicamente respondió positivamente al agregado de N al suelo ($\alpha < 0,01$) (Figura 3.27).

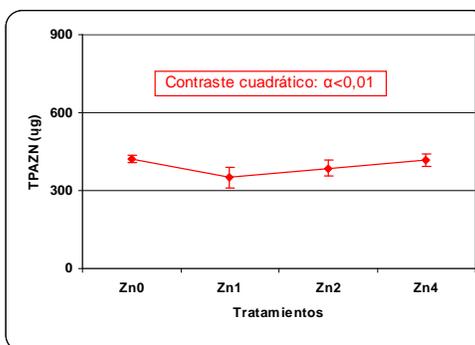
Figura 3.27. Absorción de Zn en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con N.



Zn en parte aérea

La absorción total de Zn en la parte aérea de la planta respondió a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con el agregado de dosis crecientes de Zn hasta un mínimo en el nivel 1 (Figura 3.28).

Figura 3.28. Absorción de Zn en la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn.



Zn en raíces

La absorción total de Zn en raíces respondió en forma independiente y positiva al Zn ($\alpha < 0,01$) y al N ($\alpha < 0,05$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn hasta un máximo alcanzado en el nivel 1 (Figuras 3.29 y 3.30).

Figura 3.29. Absorción de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N

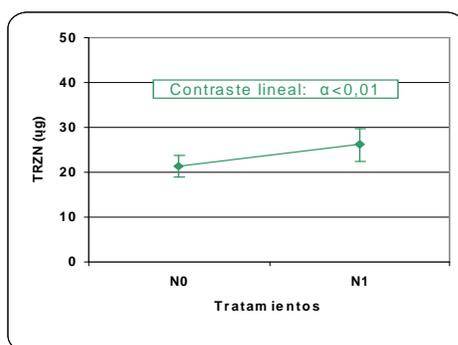
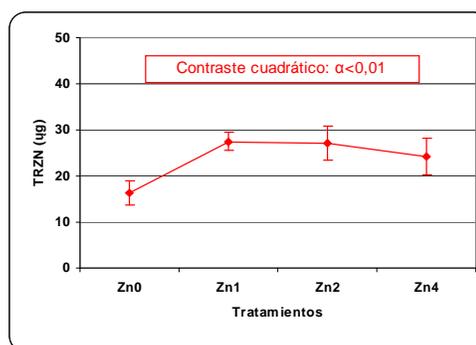


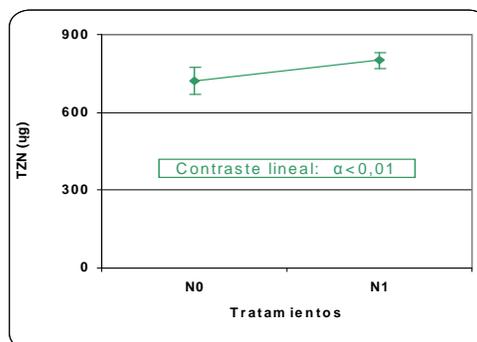
Figura 3.30. Absorción de Zn en las raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn



Zn total en planta

La absorción total de Zn realizada por la planta de poroto respondió ($\alpha < 0,01$) positivamente al agregado de N (Figura 3.31).

Figura 3.31. Absorción total de Zn en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con N.



El contenido de Zn (μg) fue similar en la parte aérea y granos, presentando las raíces escasas cantidades (Figura 3.32).

El contenido de N (mg) fue mayor en granos siguiendo en orden decreciente en parte aérea, siendo menor en raíz (Figura 3.33).

Figura 3.32 Absorción promedio de Zn en los diferentes órganos de la planta

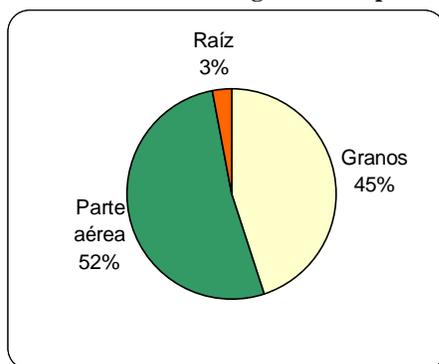
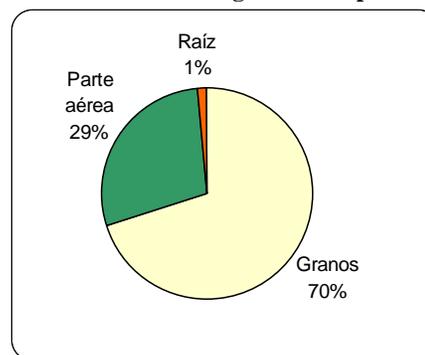


Figura 3.33. Absorción promedio de N en los diferentes órganos de la planta



La absorción total de N se incrementó hasta un máximo en la dosis de Zn₂ con la fertilización conjunta de Zn y N, no respondiendo al Zn solo, lo que indicaría sinergismo entre ambos nutrientes (Figura 3.26). Esta mayor absorción de N total en planta está relacionada con mayor absorción en la parte aérea y en los granos. Sin embargo, no se manifiesta aumento en la concentración de este nutriente en los granos (Figura 3.14) cuando se lo fertiliza con Zn solo, el cual disminuye comprometiendo su calidad proteica. Una de las causas que podría explicar este comportamiento es que el contenido de N en el suelo sea limitante.

Por otra parte, la adición de dosis crecientes de Zn al suelo favoreció la removilización de N de la parte aérea hacia el destino cosechable (Figuras 3.24 y 3.25), ratificando los resultados obtenidos para materia seca.

La absorción total de Zn en la planta respondió positivamente a la fertilización con N (Figura 3.31). Esta absorción se potenciaría cuando se fertiliza con una fuente amoniacal tal cual lo demostraron Xian y Shokohifard (1989), Thomson et al. (1993) y Barsoom et al. (1996). La fertilización con Zn solamente no tuvo influencia en el contenido de Zn del total de la planta ya que se observaron aumentos de concentración solamente en las raíces (Figura 3.20) que constituyen un pequeño porcentaje de la producción de materia seca total de la planta. Parecería que el problema de traslocación de Zn de las raíces al tallo está influenciado por la falta de N observada, como lo señala Kabata Pendías y Pendías (1985).

3.2.2.2. Respuesta al Zn y su interacción con N en un Argiustol típico

Los supuestos para el análisis de varianza, el ANVA y los contrastes ortogonales para los datos obtenidos de este suelo se observan en el Anexo 3.

3.2.2.1. Producción de materia seca y sus componentes

Peso seco de granos

El peso seco de granos respondió a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin N alcanzó un máximo para el segundo nivel de Zn. Siempre hubo mayor rendimiento en los suelos fertilizados con N (Figura 3.34).

Peso seco de la parte aérea

El peso seco de la parte aérea respondió a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con el agregado de dosis crecientes de Zn más N hasta un mínimo en el nivel 1 y aumentó sin N hasta un máximo alcanzado en el nivel 2 de Zn. Al agregar N sin Zn aumentó el peso seco (Figura 3.35).

Peso seco de raíces

El peso seco de raíces no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción. La media general del ensayo fue $0,4681 \pm 0,0353$ g raíz⁻¹.

Figura 3.34. Peso seco de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N

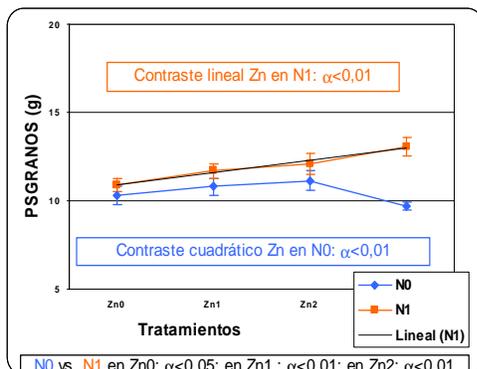
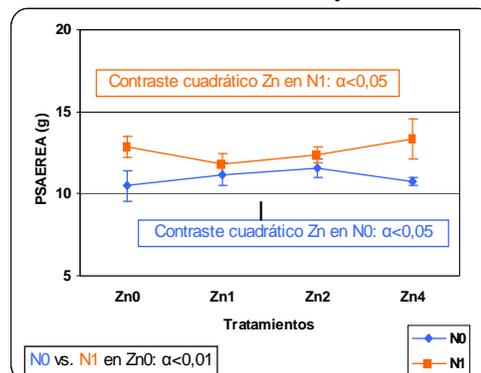


Figura 3.35. Peso seco de la parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Peso seco total

El peso seco total respondió positivamente a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin fertilización nitrogenada alcanzó un máximo para el segundo nivel de Zn. Siempre hubo mayor rendimiento en los suelos fertilizados con N (Figura 3.36).

Figura 3.36. Peso seco total de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N

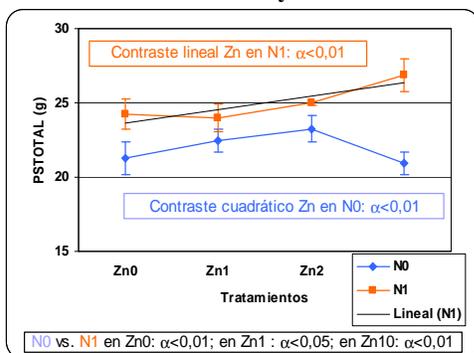
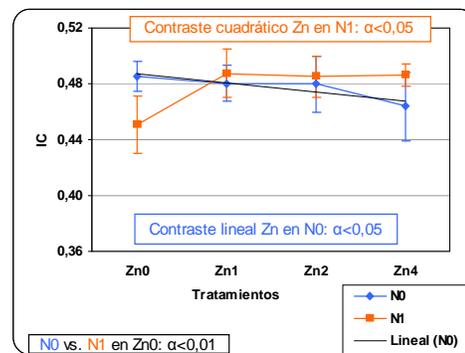


Figura 3.37. Índice de cosecha de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Índice de Cosecha

El índice de cosecha respondió a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$).

Aumentó con el agregado de dosis crecientes de Zn más N hasta un máximo alcanzado en el nivel 1 y disminuyó en los suelos sin N. Al adicionar sólo N se produjo un menor índice de cosecha (Figura 3.37).

Gramaje

El gramaje respondió en forma independiente a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$) y N ($\alpha < 0,05$). Disminuyó a medida que se incrementaron las dosis de Zn, aumentando cuando se aplicó N (Figuras 3.38 y 3.39).

Figura 3.38. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con N

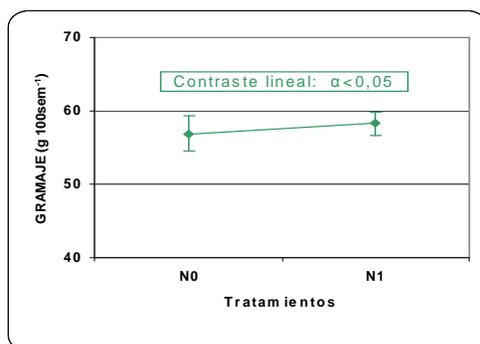
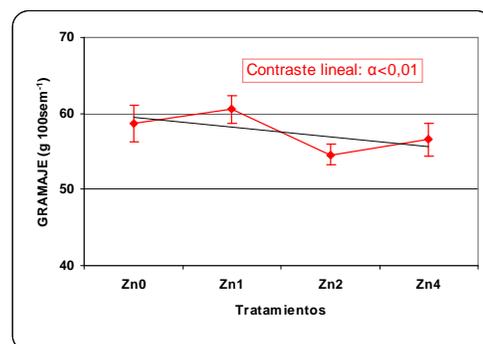


Figura 3.39. Gramaje de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn



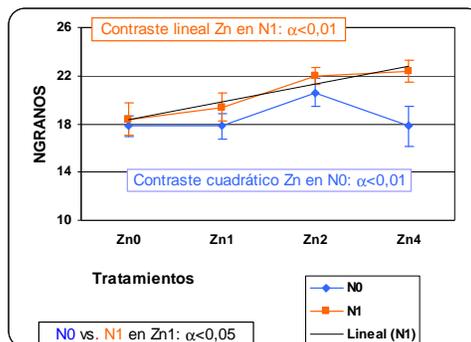
Granos por vaina

Los granos por vaina no respondieron a la fertilización con Zn ni a la interacción entre nutrientes. La media general del ensayo fue $2,80 \pm 0,33$ granos vaina⁻¹.

Cantidad total de granos

La cantidad total de granos respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin N llegó a un máximo alcanzado en el nivel 2 de Zn (Figura 3.40).

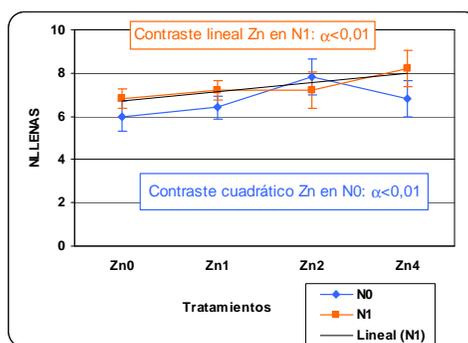
Figura 3.40. Cantidad total de granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Cantidad de vainas llenas

La cantidad de vainas llenas respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,05$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin N llegó a un máximo en el nivel 2 de Zn (Figura 3.41).

Figura 3.41. Vainas llenas de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Cantidad de vainas vanas

La cantidad de vainas vanas respondió en forma independiente a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,05$) y N ($\alpha < 0,01$). El vaneó disminuyó a medida que aumentaron las dosis de Zn (Figuras 3.42 y 3.43).

Figura 3.42. Vainas vanas de poroto y su respuesta a la fertilización con N

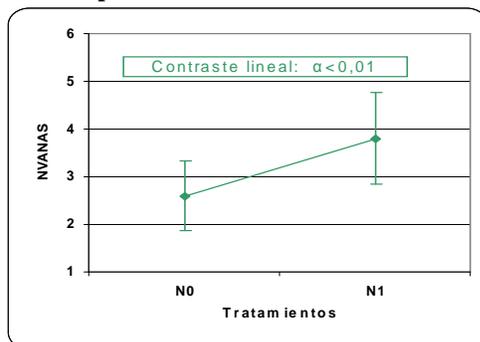
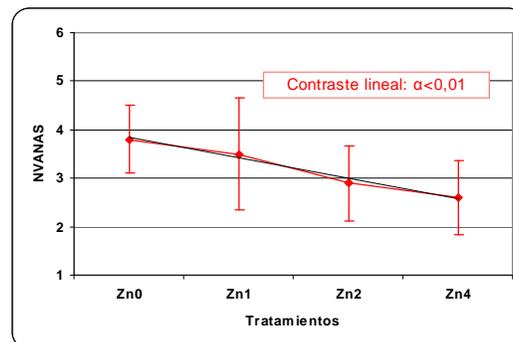


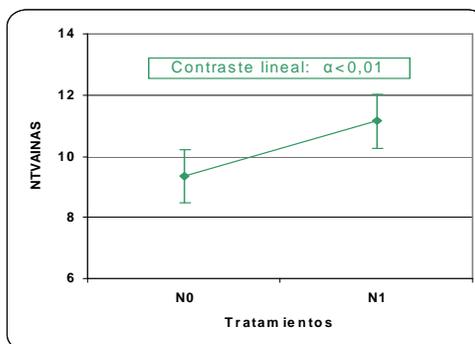
Figura 3.43. Vainas vanas de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn



Cantidad de vainas totales

La cantidad de vainas totales únicamente respondió ($\alpha < 0,01$) positivamente a la fertilización nitrogenada (Figura 3.44).

Figura 3.44. Vainas totales de poroto y su respuesta a la fertilización con N



La producción de materia seca aérea, total y en granos respondió a la interacción de Zn y N.

Con la aplicación de Zn y N aumentó la producción de materia seca total y el rendimiento en granos en forma lineal hasta el máximo nivel de Zn estudiado (Figuras 3.34 y 3.36). O sea que la fuente realmente era limitante ya que con la

fertilización aumentó la producción neta, a diferencia de lo observado en el Haplustol údico. La partición de fotoasimilados a destinos cosechables también se incrementó, este efecto se demostró por el aumento del índice de cosecha (Figura 3.37), ya con la dosis Zn1 ($1,82 \text{ mg kg}^{-1}$). El aumento del rendimiento en granos se determinó por el incremento del número de vainas llenas (Figuras 3.34 y 3.41). El número de granos por vaina no varió y el gramaje disminuyó. El mayor número de granos fue ocasionado por el mayor número de vainas llenas (Figuras 3.40 y 3.41), al contrario de lo encontrado por Kalyan-Singh et al (1992) y corroborando lo encontrado por García Medina (1991) y Blaylock (1995).

Cuando al suelo se lo fertilizó con Zn, el peso seco de la parte aérea, total y de granos aumentó hasta un máximo en el nivel 2 de Zn (10 kg ha^{-1}), coincidiendo con Iyengar y Raja (1988). El gramaje disminuyó en forma lineal junto con el índice de cosecha. El número de vainas llenas y de granos aumentó cuadráticamente hasta un máximo en el nivel 2 de Zn. El rendimiento también estuvo determinado por el número de vainas llenas. El número de vainas vanas disminuyó con el aumento en dosis de Zn y aumentó con la fertilización con N solo (Figuras 3.42 y 3.43). Cuando se aplican los dos nutrientes juntos se observa una compensación de efectos ya que el número de vainas llenas crece en forma lineal (Figura 3.41).

Debido al comportamiento manifestado por las variables peso seco de grano, peso seco de parte aérea y peso seco total se observa sinergismo entre Zn y N.

La fertilización con Zn produjo un aumento de rendimiento y disminución

en el gramaje, a pesar de ello no se afectó la calidad del grano por que según los patrones de comercialización se mantendría en la máxima categoría (mayor a 52,6 g 100 sem⁻¹, CLERA 2001). Este comportamiento fue diferente a lo observado en el Haplustol údico.

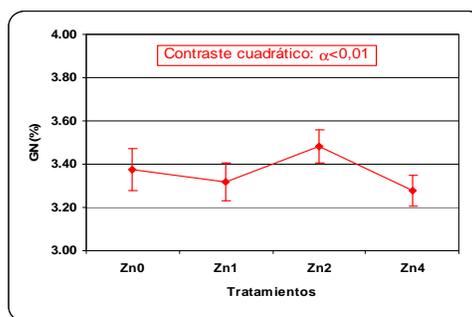
3.2.2.2. Concentración de nutrimentos

La concentración de N en las diferentes partes del vegetal fue:

N en granos

La concentración de N en granos respondió a la fertilización de Zn ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn y llegó a un máximo alcanzado en el nivel 2 de Zn (Figura 3.45).

Figura 3.45. Concentración de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn



N en parte aérea

La concentración de N en parte aérea no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción entre ambos nutrimentos. La media general del ensayo fue $1,22 \pm 0,08$ g 100g⁻¹.

N en raíces

La concentración de N en raíces no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción entre nutrientes. La media general del ensayo fue $1,67 \pm 0,20 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

La concentración de **Zn** en diferentes las partes del vegetal fue:

Zn en granos

La concentración de Zn en granos no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción. La media general del ensayo fue $26,17 \pm 1,19 \text{ mg kg}^{-1}$.

Zn en parte aérea

La concentración de Zn en la parte aérea respondió a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con las dosis crecientes de Zn más N hasta un mínimo alcanzado en el nivel 2 de Zn y aumentó sin la adición de N. Al agregar N sin Zn la concentración aumentó (Figura 3.46).

Figura 3.46. Concentración de Zn en parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N

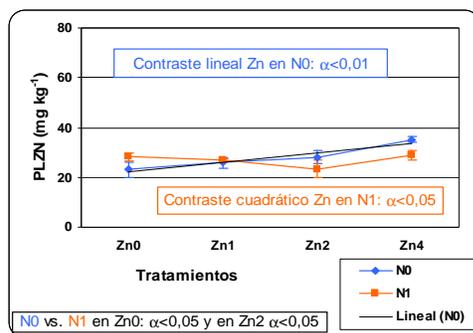
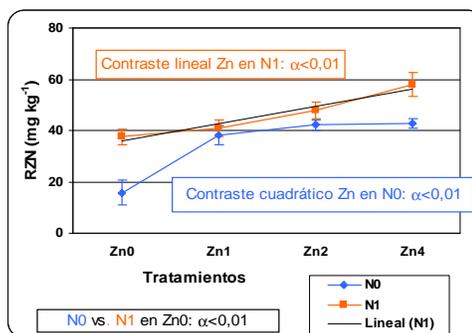


Figura 3.47. Concentración de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Zn en raíces

La concentración de Zn en las raíces respondió a la interacción de Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin N alcanzó un máximo en nivel 1 de Zn. (Figuras 3.47).

La concentración de Zn en el grano no manifestó diferencias con respecto a los tratamientos con y sin fertilización, a pesar de que se considera baja ($26,17 \pm 1,19$ mg Zn kg⁻¹) de acuerdo a los datos mencionados en la bibliografía Moraghan (1994). Wallace (1989) y Moraghan (1996) encontraron respuesta al fertilizar con N o Zn.

En los restantes órganos vegetales la concentración de Zn tuvo respuesta a la interacción Zn y N. Aumentó con la fertilización con N o con Zn separadamente corroborando los resultados encontrados en raíces por Wallace (1989) y en parte aérea por Hussain et al. (1988). Con ambos produjo una disminución cuadrática en la concentración de Zn en la parte aérea mientras que en las raíces aumentó linealmente hasta la dosis máxima de Zn. Esto puede deberse a la disminución de la eficiencia de traslocación del Zn como fue demostrado en el otro suelo y cita Malavolta (1980) y Reis et al. (1992).

La concentración de N en el grano aumentó hasta el nivel 2 de Zn cuando se fertilizó el suelo con este nutriente, al contrario de lo encontrado por Singh et al. (1995). Dicha concentración no se modificó cuando al suelo se le agregó N solo (Figura 3.45).

Con respecto al contenido de N de los granos de poroto, se consideran

valores normales entre 3,68 y 4,32 g 100 g⁻¹ (Fili 1997) y en zonas de cultivo en el NOA se encuentran valores para el poroto tipo Alubia entre 2,72 y 3,68 g 100 g⁻¹ (Pacheco Basurco et al. 1990). En este ensayo el contenido de N estaría dentro de lo adecuado, aumenta de valores cercanos a 3,38 hasta 3,48 g 100 g⁻¹ con la dosis Zn2 para volver a bajar hasta 3,28 g 100 g⁻¹ en la máxima dosis de Zn .

El Zn se acumuló en la raíz y el N en el grano, tal como ocurrió en el ensayo realizado sobre el suelo Haplustol (Figuras 3.48 y 3.49).

Figura 3.48. Concentración promedio de Zn en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada

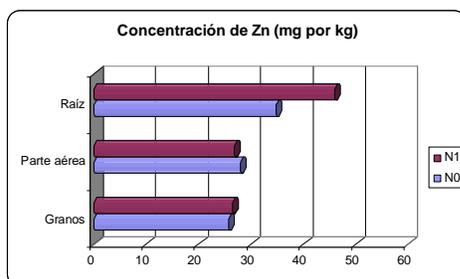
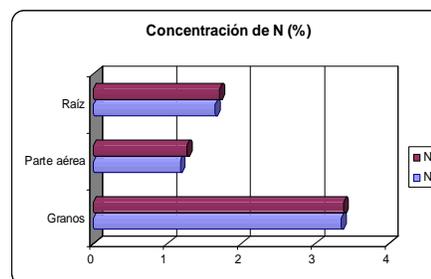


Figura 3.49. Concentración promedio de N en los diferentes órganos vegetales con y sin fertilización nitrogenada



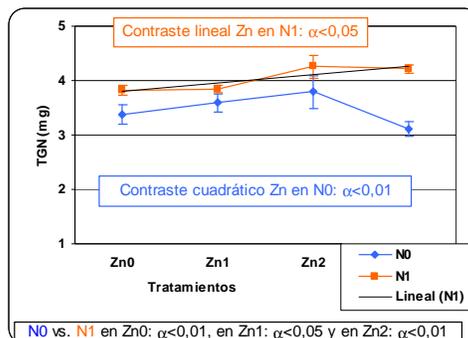
Absorción de nutrimentos

La absorción de N en las diferentes partes del vegetal fue:

N en granos

La absorción total de N en granos respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N y sin adicionar N llegó a un máximo en el nivel 2 de Zn. Siempre hubo mayor rendimiento en los suelos fertilizados con N (Figura 3.50).

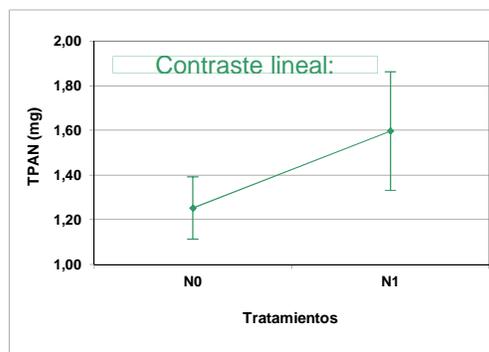
Figura 3.50. Absorción total de N en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



N en parte aérea

La absorción total de N en la parte aérea únicamente respondió ($\alpha < 0,01$) positivamente al N (Figura 3.51).

Figura 3.51. Absorción total de N en parte aérea de la planta de poroto y su respuesta a la fertilización con N



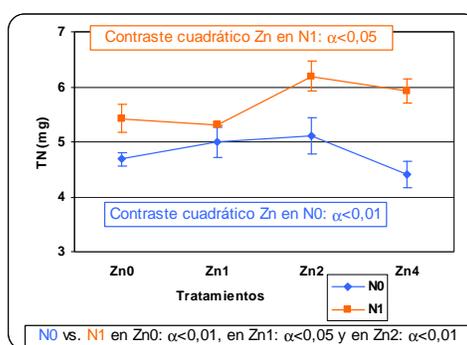
N en raíces

La absorción total de N en raíces no respondió a la fertilización con Zn ni a la interacción entre nutrientes. La media general del ensayo fue $0,0774 \pm 0,0112 \text{ mg pl}^{-1}$.

N total en planta

La absorción total de N respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Aumentó llegando a un máximo en el nivel 2 de Zn con y sin adición de N. Siempre hubo mayores rendimientos en los suelos fertilizados con N (Figura 3.52).

Figura 3.52. Absorción total de N en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



Los niveles de absorción de **Zn** en las diferentes partes del vegetal son:

Zn en granos

La absorción total de Zn en granos presentó interacción entre Zn y N ($\alpha < 0,05$). Aumentó con las dosis crecientes de Zn más N. Al fertilizar con N sin Zn la absorción aumentó llegando a un máximo en el nivel 2 de Zn (Figura 3.53).

Zn en parte aérea

La absorción total de Zn en la parte aérea de la planta respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con las dosis crecientes de Zn más N

hasta alcanzar un mínimo en el nivel 2 de Zn y aumentó cuando no se adicionó N. Al fertilizar con N sin Zn la absorción aumentó (Figura 3.54).

Figura 3.53. Absorción de Zn en granos de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N

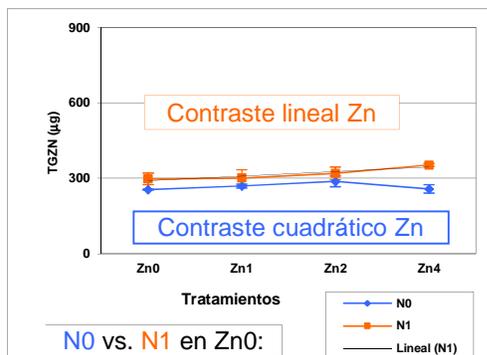
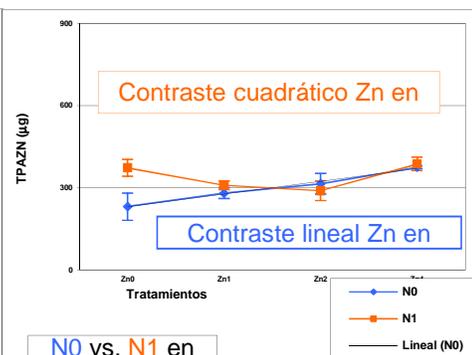


Figura 3.54. Absorción de Zn en parte aérea de poroto y su respuesta a la fertilización Zn y N



Zn en raíces

La absorción total de Zn en raíces respondió en forma independiente y positiva a la fertilización con Zn ($\alpha < 0,01$) y con N ($\alpha < 0,01$). Aumentó con las dosis de Zn hasta un máximo en el nivel 2 de Zn (Figuras 3.55 y 3.56).

Figura 3.55. Absorción de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con N

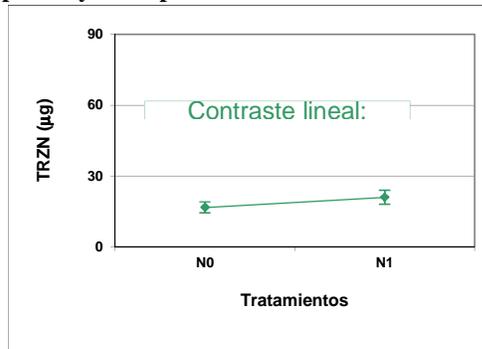
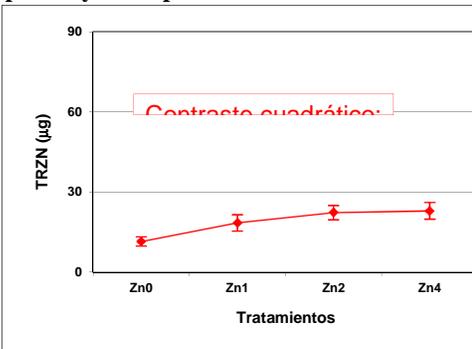


Figura 3.56. Absorción de Zn en raíces de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn

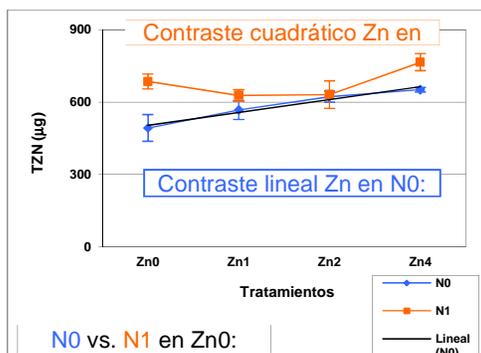


Zn total en planta

La absorción total de Zn respondió a la interacción Zn y N ($\alpha < 0,01$). Disminuyó con las dosis crecientes de Zn más N hasta un mínimo alcanzado en el nivel 2 y aumentó cuando no se adicionó N. Al fertilizar con N sin Zn la absorción

aumentó (Figura 3.57).

Figura 3.57. Absorción total de Zn en planta de poroto y su respuesta a la fertilización con Zn y N



La absorción de nutrientes respondió a la interacción de Zn y N.

La fertilización con Zn y N, juntos o por separado provocaron un incremento en la absorción de N en grano, del N total en planta y de Zn en grano y raíz (Figura 3.50, 3.52, 3.53 y 3.56). El contenido de Zn en la parte aérea, en planta entera y en grano aumentó con la adición de Zn al suelo. Cuando se fertilizó con Zn y N la absorción de Zn en grano también aumentó, disminuyendo en parte aérea y planta entera (Figuras 3.53, 3.54 y 3.57).

La fertilización con N aumentó los contenidos totales de Zn y N en todos los órganos, a excepción de N en la raíz que no presentó variaciones.

El Zn se distribuyó presentando similares contenidos en parte aérea y grano, siendo la raíz la que posee el menor valor (Figura 3.58).

La mayor parte del contenido de N se encontró en grano siendo escaso en raíz (Figura 3.59).

Figura 3.58. Absorción promedio de Zn en los diferentes órganos de la planta

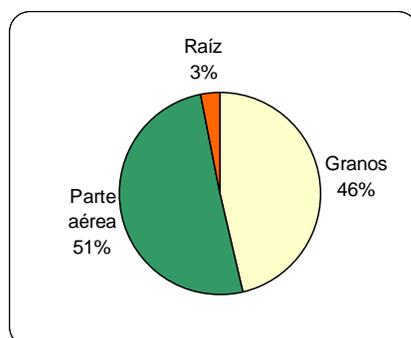
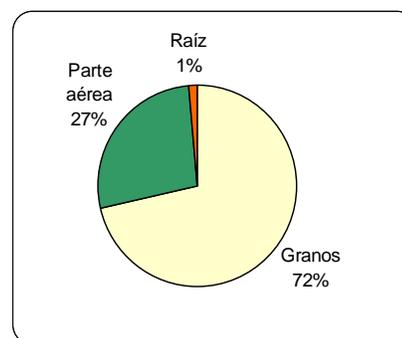


Figura 3.59. Absorción promedio de N en los diferentes órganos de la planta

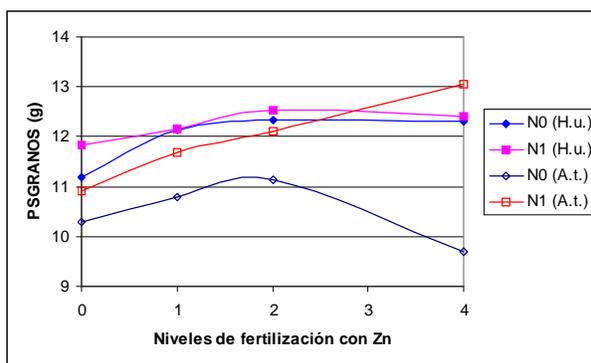


La absorción total de N se incrementó hasta un máximo en la dosis de Zn₂ con la fertilización conjunta de Zn y N, respondiendo también a la fertilización de ambos nutrientes de manera independiente, se manifestaría sinergismo entre los dos elementos (Figura 3.52). La mayor absorción de N total en planta, contrariamente al suelo Haplustol, estuvo asociada con un aumento en la concentración de este nutriente en los granos (Figura 3.45) y materia seca de grano (Figura 3.34). Por lo tanto, en el suelo Argiustol no hubo deficiencias de N cuando se fertilizó. Igual comportamiento se presentó con la adición de Zn al suelo (Figuras 3.34, 3.50 y 3.52).

La absorción total de Zn en la planta respondió positivamente a la fertilización sólo con Zn o con N sin Zn, en todos los órganos vegetales (Figuras 3.53, 3.54, 3.55, 3.56 y 3.57). Con la fertilización de ambos nutrientes disminuye la absorción de Zn hasta la dosis Zn₂ y para incrementarse en Zn₄ (Figura 3.57). La fertilización nitrogenada favorece la redistribución de Zn hacia los granos (Figuras 3.53 y 3.54) ya que la absorción total de Zn aumenta por la fertilización conjunta de Zn y N.

Resumiendo, el rendimiento en grano en el Haplustol údico fue máximo cuando al suelo se lo fertilizó con una dosis equivalente a 10 kg Zn ha^{-1} y con N (Figura 3.60). En el Argiustol típico el poroto tuvo una respuesta positiva en

Figura 3.60. Rendimiento en granos de poroto en suelos Haplustol údico y Argiustol típico, no fertilizados y fertilizados con Zn y N



rendimiento de grano al fertilizarse con los nutrimentos hasta las dosis máximas empleadas equivalentes a 20 kg Zn ha^{-1} y 50 kg N ha^{-1} . Cuando se aplicó solamente Zn, el máximo se obtuvo con la dosis de 10 kg Zn ha^{-1} (Figura 3.60).

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN GENERAL

La importancia del cultivo de poroto radica en que el grano forma parte de la dieta básica en la mayoría de los países latinoamericanos, en la Argentina, su consumo es bajo y este producto es casi totalmente exportado constituyendo una interesante fuente de ingresos para las Provincias de Salta y Jujuy. La productividad promedio de poroto en el país es baja (1000 kg ha^{-1}), para aumentarla es necesario orientar la investigación fundamentalmente hacia el mejoramiento genético, pero éste sólo no es suficiente si no está acompañado de tecnología de manejo del cultivo que permita expresar el máximo potencial varietal. El desafío es obtener producciones altas, estables en volúmenes y calidad.

Los cultivos de poroto en el noroeste argentino que fueron fertilizados con nitrógeno (predominantemente urea), en dosis de 50 kg N ha^{-1} , no sólo mejoraron la calidad del grano sino que también se incrementó el rendimiento entre 30 y 50% (Figueroa, 1990, 1999; Ortega 1999c). En algunas producciones de poroto para grano seco, se han observado síntomas de deficiencia de Zn, que fueron corroboradas mediante pruebas diagnósticas empleando fertilización foliar (Ortega 1999). Debido a los escasos estudios existentes en el país sobre este cultivo, cabe preguntarse si realmente en la zona productora se detectan desórdenes nutricionales de Zn que puedan limitar la producción de poroto. Para poder responder esta pregunta se caracterizaron los suelos de la zona de

producción de este cultivo. Dichos suelos pertenecen al orden Molisol siendo clasificados como Haplustoles y Argiustoles, típicos y údicos.

Los suelos deficientes, según lo establecido por la bibliografía internacional, son aquellos que tienen contenidos menores a $0,6 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ Zn-DTPA (Gupta 1995). Los Subgrupos típicos fueron los que manifestaron deficiencias (Argiustoles típicos con $0,55 \pm 0,19 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ y los Haplustoles típicos con $0,39 \pm 0,14 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) y en los údicos los contenidos de este nutrimento son superiores al umbral crítico (Argiustoles údicos con $1,57 \pm 0,47 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ y los Haplustoles údicos con $1,70 \pm 0,76 \text{ mg Zn kg}^{-1}$), Tabla 3.1. El análisis multivariado permitió identificar estos Subgrupos de suelos diferenciándolos por el contenido de Zn, la fracción coloidal, la capacidad de retención de agua y los contenidos de N, K y carbonatos. Cabe destacar que las variables pH, conductividad eléctrica, relación C/N y P no fueron capaces de identificar diferencias entre grupos (Figura 3.1). La distinta disponibilidad de Zn entre los cuatro Subgrupos de suelo estaría relacionada al régimen de humedad ya que esta favorecería la mayor disponibilidad de este nutriente, siendo los dos Subgrupos údicos los que presentaron mayor contenido de este nutriente. La respuesta a la pregunta planteada es que los resultados obtenidos indicaron la importancia de la caracterización de los suelos de la región para poder conocer “a priori” la disponibilidad de Zn para los cultivos. Se verifica parcialmente la primera parte de la hipótesis planteada “los suelos de la región productora de poroto de Salta y Jujuy son deficientes en Zn”, ya que sólo el Subgrupo típico resultó deficiente en este nutriente.

Para poner a prueba la segunda parte de la hipótesis: “la fertilización conjunta de Zn y N influye positivamente sobre el rendimiento del cultivo de poroto”, y observar si los contenidos de Zn encontrados por encima o debajo del umbral crítico ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn-DTPA) presentan distintos comportamientos por esta fertilización, se realizó un ensayo en invernáculo. Este ensayo tuvo por finalidad establecer el efecto de diferentes dosis de fertilización con Zn y N sobre la producción de materia seca, los componentes del rendimiento, la concentración y absorción de Zn y N, y determinar la interacción de la aplicación de Zn con la fertilización nitrogenada en dos suelos de la zona productora de poroto que presentaron contenidos suficientes y deficientes de Zn-DTPA. Para llevar a cabo el mismo se emplearon tres dosis de Zn y una de N, paralelamente se realizó un tratamiento sin fertilizar.

En el suelo Haplustol údico, con contenidos superiores al nivel crítico de Zn, no hubo respuesta a la fertilización con ambos elementos, por lo tanto, no se produjo aumento de la producción neta evaluada como materia seca total (Anexo 2, pág. 95). Sin embargo, el peso seco de granos se incrementó (Figuras 3.2 y 3.3) debido a la influencia que tuvieron los tratamientos de fertilización en la redistribución de los fotoasimilados al destino cosechable, comprobado por un mayor índice de cosecha (Figuras 3.5 y 3.6). El incremento de rendimiento observado cuando se fertiliza con N y Zn en forma independiente son similares (Anexo 2, pág. 6), pero el tamaño del grano se incrementa con la fertilización conjunta (Figura 3.7). Resumiendo: no existió interacción entre N y Zn en rendimiento pero sí se corroboró en calidad de grano. Los componentes de rendimiento tamaño (gramaje) y número de granos por vaina fueron los que

causaron el aumento de materia seca de granos cuando se fertilizó con Zn (Figuras 3.3, 3.7 y 3.9). El aumento de rendimiento en granos obtenido por la fertilización con N se debió, solamente, al aumento en el número de granos por vainas (Figuras 3.2 y 3.8). La concentración de Zn fue mayor en las raíces cuando se lo fertiliza con este nutriente, mientras que la misma disminuye en la parte aérea, no variando en el grano (Figuras 3.18 y 3.19), este comportamiento podría deberse a una baja eficiencia de traslocación desde la raíz, efecto que podría atribuirse a una deficiencia de N debido a que la dosis empleada fue baja. Esto se evidenció con la concentración de Zn en los granos que fue menor que lo establecido como normal y fue potenciada con el agregado de una fuente amoniacal, no respondiendo a la fertilización con Zn. El Zn se acumuló en la raíz y el N en el grano (Figuras 3.21 y 3.22).

En el suelo Argiustol típico, con contenidos inferiores al nivel crítico de Zn, se produjo un aumento de la producción neta (materia seca total) y del peso seco de granos (Figuras 3.34 y 3.36). Esto se atribuyó a un mayor número de vainas llenas (Figura 3.41). Hubo interacción Zn y N manifestando un incremento del rendimiento, pero no hubo cambios en calidad de grano (gramaje) la cual respondió independientemente a la fertilización (Figuras 3.38 y 3.39). La concentración de N en grano aumentó al fertilizar con Zn y el contenido de Zn en granos no varió con los tratamientos de fertilización.

Por lo expuesto se ha podido corroborar la segunda parte de la hipótesis, afirmando que la fertilización con Zn y su aplicación conjunta con N influyó positivamente sobre el rendimiento del cultivo de poroto y su calidad. El suelo

con contenidos de Zn por debajo del nivel crítico ($0,6 \text{ mg Zn-DTPA kg}^{-1}$) resultó ser deficiente en ese elemento ya que respondió a la fertilización con Zn con aumento de la materia seca total, rendimiento en grano, calidad por incremento de tamaño y contenido de N, alcanzando óptimos resultados con la aplicación al suelo de 20 kg Zn ha^{-1} y 50 kg N ha^{-1} . El suelo con contenido mayor al umbral crítico resultó tener suficiente cantidad de Zn ya que no hubo variación de la producción neta con la fertilización, pero su aplicación incrementó el rendimiento en grano y la calidad por tamaño del mismo, los mayores rendimientos se obtuvieron cuando al suelo se le incorporaron 10 kg Zn ha^{-1} , adicionando éste junto a 50 kg N ha^{-1} se obtuvo un mayor tamaño y calidad de grano mejorando su valor nutritivo. El diagnóstico de fertilización utilizando el análisis de suelo resultó ser una herramienta adecuada para determinar la deficiencia o no de Zn en los suelos productivos de Salta y Jujuy.

White e Izquierdo (1989) remarcaron la importancia de una buena nutrición en etapas tempranas de los porotos arbustivos de ciclo corto, como el tipo alubia, para poder aumentar el rendimiento y calidad debido a una adecuada redistribución de fotoasimilados y nutrimentos. Otros investigadores comprobaron que el Zn tuvo alto impacto sobre el cultivo cuando se fertiliza con este elemento (Cakmak et al. 1989, Moraghan 1996, Moraghan et al. 1999). Estas afirmaciones son coincidentes con las determinadas en la presente investigación.

Por otra parte, García Medina (1991) y Blaylock (1995) comprobaron que las vainas llenas son el principal componente que define al rendimiento, en este trabajo esto se puede afirmar para el suelo Argiustol, mientras que en el Haplustol

la variable que definió el rendimiento fue el número de granos y gramaje cuando al suelo se lo fertilizó con Zn.

El avance de esta investigación es destacar la importancia que tiene el tipo de suelo y los niveles de Zn en el mismo, sobre la respuesta a la fertilización del cultivo ya que investigaciones anteriores, no emiten juicios de valor sobre los contenidos previos de Zn en el suelo, limitándose solamente a describir las respuestas de sus experimentos. Además, cuando se quiere potenciar la respuesta del cultivo de poroto tipo alubia es conveniente adicionar simultáneamente al suelo Zn y N. Aunque estos elementos se comporten como independientes en cuanto al rendimiento presentan un sinergismo positivo en lo referente a la calidad de grano.

La originalidad de este trabajo radica en estudiar la interacción N-Zn aplicada al cultivo de poroto. Sólo Blaylock (1995) estudió esta problemática y no encontró interacción entre estos nutrimentos en poroto, influyendo en forma independiente en su rendimiento y calidad. Las dosis de N comúnmente utilizadas por los agricultores en la zona de estudio, si bien incrementan los rendimientos de poroto no son suficientes cuando se combinan los factores de producción para lograr altos rendimientos. Los resultados obtenidos dan lugar a que los mismos se complementen en otros suelos de la región productora para un mejor ajuste de la caracterización de los mismos con respecto a este nutriente. También, se deberían realizar estudios a campo, sistemáticos y a largo plazo para evaluar en condiciones de producción la respuesta a la fertilización conjunta de Zn y N. Bajo estas condiciones de manejo cabe plantearse qué influencia podría tener la fertilización

continua con Zn en los suelos y si la residualidad de dicho elemento podría causar efectos perjudiciales en el ambiente y por ende en la alimentación. También, debería investigarse el empleo de nuevas tecnologías (inoculación, sistemas de labranza conservacionistas, manejo de coberturas, rotaciones con otros cultivos, entre otros) para propender a la sostenibilidad del sistema ya que, en la zona esta problemática se agrava porque la mayoría de los cultivos de poroto no se incluyen en ninguna rotación desde hace más de 10 años.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway BJ. 1995. Heavy metals in soils. 2nd. ed. Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall. U.K. 368 pp.
- Armour JD, Robson AD, Ritchie GSP. 1990. Prediction of zinc deficiency in navy beans (*Phaseolus vulgaris*) by soil and plant analyses. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30: 4, 557-563.
- Arzeno JL. 1999. Producción y manejo de cobertura para siembra directa de poroto. Poroto-Characterización y manejo de suelos. En: Información y experimentación INTA-EEA Salta. Ed. Proyecto macroregional del NOA de Poroto. Salta. 93 pp.
- Barsoom SW, El Sawy M, Kansouh ASH, El Haddad ME, Francis RR, El Borollosy MA. 1996. Effect of nitrogen sources on some micronutrient uptake. Proceedings of the sixth conference of agricultural development research, Cairo. *Annals of Agricultural Science Cairo. Special Issue*, 279-286.
- Bianchi AR. 1992. Regiones productivas de Salta y Jujuy. *Panorama Agropecuario. Centro Regional Salta-Jujuy*. 41: 9-14.
- Blaylock AD. 1995. Navy bean yield and maturity response to nitrogen and zinc. *Journal of Plant Nutrition*. 18: 1, 163-178.
- Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making part the size analysis of soils. *Agron. J* 54:464-465.

- Cakmak I, Marschner H, Bangerth F 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole - 3 - acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 40:212, 405-412.
- Cardona C, Flor CA, Morales F, Pastor Corrales MA. 1995. Problemas de campo en los cultivos de frijol en el trópico. CIAT. Cali, Colombia. 220 pp.
- CIAT. 1985. Frijol: Investigación y producción. CIAT, Cali, Colombia. 419 pp.
- CIAT. 1994. Problemas de producción del frijol en los trópicos. 2ª ed. Pastor corrales M, Schwartz HF (eds.). Cali, Colombia. 805 pp.
- CLERA (Cámara de legumbres de la República Argentina). 2001. Precios Indices. Organó oficial de difusión de la CLERA Año 2 N° 19, pág. 9.
- Fageria NK, Zimmermann FJP, Baligar VC. 1995. Lime and phosphorus interactions on growth and nutrient uptake by upland rice, wheat, common bean, and corn in an oxisol. *Journal of Plant Nutrition* 18: 11, 2519-2532.
- Fageria NK, Zimmermann FJP. 1998. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 17-18, 2675-2682.
- Failde V, De Simone M, García Medina S, Panadero Pastrana C. 1995. Siembra de poroto. Informe técnico de la EEA Salta – INTA. 5 pp.
- Fay E. 2001. Fertilizante en el agro. Boletín bimestral CPIA. AñoXIII N°57: 4-5. Enero 2001. Buenos Aires.

- Figuroa P. 1990. Experiencias de fertilización en poroto alubia en el sur de la provincia de Salta. En: Programa de producción conservacionista – Fertilización de poroto, 7-11 pp. Agencia de Extensión Piloto Metán-INTA-SEEA. Salta
- Figuroa P. 1998. Informe de Experiencias de fertilización en soja en Piquete Cabado, Salta. INTA-EAA Salta. Salta. 8 pp.
- Figuroa P. 1999. Experiencias de fertilización en poroto alubia en el sur de la provincia de Salta. Caracterización y manejo de suelos. Información y experimentación de INTA-EEA Salta. Ed. Proyecto macroregional del NOA de Poroto. Salta. 1-6 pp.
- Figuroa P y Ortega A. 1997 Empleo actual de nutrimentos en los principales cultivos de Salta y Jujuy. EEA Salta. Informe entregado al editor de la Revista Fertilizar Ing. Agr. Ricardo Melgar. Salta. 1 p.
- Fili JM. 1997. Porotos: Una excelente elección. Panorama Agropecuario- INTA-EEA Salta 50: 26-28.
- García Medina SA. 1991. Estudio de las correlaciones del rendimiento con sus componentes en cuatro tipos comerciales de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) para grano seco. 26-58 pp. En: Introducción y mejoramiento de legumbres para grano seco. Informe de trabajo. INTA-EEA Salta.
- Gupta VK. 1995. Zinc research and agricultural production. pp 132-164. Micronutrient resarch and agricultural production. Ed HLS Tandon New Delhi. Fertilizer Development and consultation organization. 164 pp.

- Haddad M. 1994. Effect of zinc on the growth and uptake of zinc by green beans. *Journal of Environmental Science and Health Part A, Environmental Science and Engineering* 29: 4, 637-645.
- Hamilton MA, Westermann DT, James DW. 1993. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 57: 5, 1310-1315.
- Hussain ISA, Rao SR, Setty TAS. 1988. Zinc nutrition in French beans. *South Indian Horticulture*. 1988, 36: 1-2, 21-26.
- Ibrikci H, Moraghan JT. 1993. Differential responses of soyabean and dry bean to zinc deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 16: 9, 1791-1895.
- Iyengar BRV, Raja ME. 1988. Response of some vegetable crops to different sources and methods of application of zinc. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 58: 7, 565-567.
- INTA. 1990. Atlas de suelo de la República Argentina. Proyecto PNUD. Tomo I 731 pp. y Tomo II 677 pp.
- INTA-EEA Salta. 1998. Incremento de la productividad y de la calidad en la producción de porotos en el NOA, en un marco de sustentabilidad ambiental y económica. Proyecto macroregional del NOA de Poroto. Salta. 27 pp.
- INTA-EEA Salta- AEEyDR. 1998. Informe N°1 del Proyecto macroregional NOA de poroto, Módulo de Estudios Económicos. Salta. 10 pp.
- INTA-EEA Salta. 1999. Caracterización y manejo de suelos. Información y experimentación de INTA-EEA Salta. Ed. Proyecto macroregional del NOA de Poroto. Salta. 93 pp.

- Jáuregui M. 1984. Ensayo de fertilización en poroto alubia. 35-39 pp. En: Informe general de actividades desarrolladas en el Departamento de Recursos Naturales del Área de Fertilidad y Rizobiología. INTA EEA Salta.
- Jolley VD, Brown JC. 1991. Factors in iron-stress response mechanism enhanced by Zn-deficiency stress in Sanilac, but not Saginaw navy beans. *Journal of Plant Nutrition* 14: 3, 257-265.
- Kabata Pendías y Pendías. 1985. Trace elements in soil and plants. 2ª ed. CRC Press Inc Boca Raton. 365 pp.
- Kalyan-Singh, Ghosal G, Jagdish-Singh. 1992. Effect of sulphur, zinc, and iron on chlorophyll content, yield, protein harvest, and nutrient uptake of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 15: 10, 2025-2033.
- Katyal JC, Randhawa, NS. 1985. Micronutrientes. FAO. Italia. 93 pp.
- Katyal JC, Sharma BD. 1991. DTPA-extractable and total Zn, Cu, Mn, and Fe in Indian soils and their association with some soil properties. *Geoderma*. 49: 1-2, 165-179.
- Liang J, Karamanos RE, Stewart JWB. 1991. Plant availability of Zn fractions in Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science* 71: 4, 507-517.
- Lorenz OA, Maynard DN. 1980. Knott's Handbook for Vegetable Growers. Wiley Interscience. New York. USA. 390 pp.
- MacDonald GE, Peck NH, Barnard J. 1990. Snap bean plant responses to zinc sulfate and manganese sulfate fertilization on tile-drained calcareous glacial till soils. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115: 4, 540-546.

- Malavolta E. 1980. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Pablo, Brasil. 254 pp.
- Marschner H. 1990. Mobilization of mineral nutrients in the rhizosphere. First Congress of the European Society of Agronomy. 1-11 pp.
- Melo EFRQ, Ronzelli Junior P, Koechler HS. 1991. Response of Phaseolus vulgaris cultivars to rates and sources of zinc in the field. Lavoura-Arrozeira. 44: 396, 23-26.
- Moraghan JT. 1994. Accumulation of zinc, phosphorus, and magnesium by navy bean seed. Journal of Plant Nutrition 17: 7, 1111-1125.
- Moraghan JT. 1996. Zinc concentration of navy bean seed as affected by rate and placement of three zinc sources. Journal of Plant Nutrition Vol 19, Iss 10-11: 1413-1422.
- Moraghan T, Sims A, Smith L. 1999. Zinc in wheat grain as affected by nitrogen fertilization and available soil zinc. Journal of plant nutrition. 22 (4-5): 709-716.
- Ortega A. 1990. Importancia del nitrógeno y el fósforo en el suelo y en la planta de poroto. En: Programa de producción conservacionista – Fertilización de poroto, 5-7 pp. Agencia de Extensión Piloto Metán- INTA-SEAA. Salta
- Ortega AE. 1994. Informes de ensayos de respuesta a la fertilización N-P-K-Zn de maíz en cultivos convencionales y conservacionistas (Campañas 1992, 1993 y 1994). INTA- EEA Salta. Salta 63pp.
- Ortega AE. 1995. Informe de servicios de enfermedades fisiogénicas. INTA- EEA Salta. Salta 1pág.

- Ortega AE. 1997. Informes de ensayos de fertilización de soja. INTA-EEA Salta. Salta. 24 pp.
- Ortega AE. 1999a. Fertilización. En: Guía práctica para el cultivo de maíz. INTA-EEA Salta. Salta. 5-7 pp.
- Ortega AE. 1999b. Herramientas para el diagnóstico nutricional del cultivo de poroto. Caracterización y manejo de suelos. Información y experimentación de INTA-EEA Salta. Ed. Proyecto macroregional del NOA de Poroto. INTA-EEA Salta Salta. 1-6 pp.
- Ortega AE. 1999c. Informe de ensayos de respuesta a la fertilización N-P de diversos tipos comerciales de poroto y localidades de Salta y Jujuy. INTA-EEA Salta. Salta. 20 pp.
- Ortega AE. 1999d. Informes de ensayos de respuesta a la fertilización N-P de maíz en el Este de Salta (Campañas 1997, 1998 y 1999). INTA- EEA Salta. Salta. 37 pp.
- Pacheco Basurco JC, Peticari A, Gauna A, Dieguez R, Ortega A, Figueroa P, Boiardi J, Arrarás E, Lodeiro A, Favelukes G. 1990. Improved grain content in Argentine crops of *Phaseolus vulgaris* L. through inoculation. 8th Int. Congress on nitrogen fixation. May 1990, Knoxville, TN, USA.
- Page AL, Miller DR, Keeney C. 1982. Methods of soil analysis, part 2, 2nd. Edn. DR Buxton, Wisconsin. 856 pp.
- Reis EL, Eiras S de P, Faria LC de, Batista CM, Bruns RE, De Faria LC. 1992. Distribution of Cu, Zn, Mn and B in beans (*Phaseolus vulgaris* L.):

- application of multivariate statistical methods. *Revista-Ceres* 39: 223, 195-207.
- Richter M. 1980. Mejoras en la determinación de carbonatos insolubles en suelos. *Rev. Fac. Agron.* 1:11-18.
- Rosolem CA. 1987. Nutrição e adubação do feijoeiro. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba, Brazil. 93 pp.
- Sadiq M, Hussain G. 1994. Effect of chelate fertilizers on dry matter and metallic composition of bean plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition* 17: 9, 1477-1488.
- Samman N, Maldonado S, Alfaro ME, Farfan N, Gutierrez J. 1999. Composition of different bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) of northwestern Argentina (region NOA): Cultivation zone influence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 7, 2685-2689.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide. Software Versión 6.12 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- SAMLA (Sistema de apoyo metodológico a los laboratorios de análisis), SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). 1990. Capacidad de intercambio catiónica y cationes intercambiables. pp 9. Argentina.
- SAMLA, SAGyP. 1995. Determinación del contenido de sales solubles. pp 13. Argentina.
- Singh AK, Singh K, Singh UN, Raju MS, Singh JP. 1995. Effect of potassium, zinc and iron on yield, protein harvest and nutrient uptake in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Potassium Research.* 11: 1, 75-80.

- Sims JT, Johnson GV. 1991. Micronutrients in Agriculture. 2nd ed. SSSA. Book Series N°4 Madison. USA. 874 pp.
- Soliman MM, El-Oksh-II, El Gizy SMH. 1991. Effect of organic manure, P, Zn and Mo on growth and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Annals-of-Agricultural-Science-Cairo*. 36: 2, 589-598.
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME. 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA, Inc. Madison, Wisconsin. USA 1357 pp
- Tau JL. 1984. Respuesta del poroto alubia a la fertilización. 40-47 pp. En: Informe general de actividades desarrolladas en el Departamento de Recursos Naturales del Área de Fertilidad y Rizobiología. INTA EEA Salta.
- Thomson CJ, Marschner H, Romheld V. 1993. Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean. *Journal of Plant Nutrition* 16: 3, 493-506.
- Vargas Gil JR. 1999. Caracterización de suelo. Poroto, Caracterización y Manejo de Suelos-Información y experimentación. INTA-EEA Salta. Proyecto Macroregional del NOA de Poroto. Salta. 93 pp.
- Wallace A. 1989. Effects of zinc when manganese was also varied for bush beans grown in solution culture. *Soil-Science*. 147: 6, 444-448.
- Westerman RL. 1990. Soil testing and plant analysis 3rd ed. SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 789 pp.
- White JW, Izquierdo J. 1989. Frijol: Fisiología del potencial de rendimiento y la tolerancia al estrés. FAO. Santiago, Chile. 91 pp.

Xian X, Shokohifard GI, 1989. Effect of pH on chemical forms and plant availability of cadmium, cinc, and lead in polluted soils. *Water,Air, and Soil Pollution* 45: 3-4, 265-273.

APÉNDICE

**Anexo 1. DATOS Y ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS SUELOS
DE PRODUCCIÓN DE POROTO.**

OBS	MUESTRA	SGS*	ZN	ARENA	LIMO	ARCILLA	CHS	PH
1	Z15	A	0.41	39	37	24	38	6.0
2	Z2	A	0.47	39	39	22	35	6.0
3	Z4	A	0.76	49	34	17	27	7.2
4	Z17	H	2.86	66	24	10	26	6.7
5	Z19	H	2.78	66	24	10	24	6.6
6	Z11	H	0.87	75	15	10	21	6.6
7	Z12	H	0.97	62	24	14	25	6.5
8	Z13	H	1.90	68	25	7	23	6.7
9	Z14	H	1.26	46	41	13	30	7.3
10	Z6	H	1.57	67	23	10	23	6.7
11	Z7	H	1.40	77	15	8	26	6.3
12	Z9	T	0.37	62	30	8	27	7.3
13	Z10	T	0.27	55	31	14	29	7.5
14	Z1	T	0.54	26	50	24	43	7.1
15	Z16	U	2.27	40	28	32	49	7.6
16	Z18	U	1.42	36	35	29	53	6.7
17	Z8	U	1.42	33	48	19	46	5.8
18	Z5	U	1.71	39	23	38	60	7.5
19	Z3	U	1.01	40	34	26	37	7.6

OBS	CE	CO3	CO	MO	N	CN	P	K
1	0.74	0.0	1.15	2.0	0.11	10	16	1.69
2	1.06	0.0	1.35	2.3	0.13	10	16	1.81
3	0.69	0.0	0.84	1.5	0.09	9	47	2.02
4	0.67	0.3	0.93	1.6	0.10	9	34	1.50
5	0.69	0.0	1.05	1.8	0.10	11	35	1.28
6	0.31	0.0	0.99	1.7	0.09	11	14	0.54
7	0.29	0.0	1.23	2.1	0.12	10	14	0.70
8	0.98	0.0	0.88	1.5	0.08	11	22	1.98
9	0.63	0.9	0.67	1.2	0.08	8	30	2.39
10	0.79	0.0	1.05	1.8	0.10	11	69	1.15
11	1.06	0.0	1.14	2.0	0.12	10	58	1.57
12	0.65	0.9	0.64	1.1	0.07	9	8	1.15
13	0.65	0.7	1.05	1.8	0.10	11	10	0.87
14	0.36	0.0	1.40	2.4	0.14	10	9	0.95
15	1.01	1.3	1.68	2.9	0.19	9	37	1.98
16	0.78	0.7	2.23	3.8	0.21	11	41	2.20
17	0.30	0.0	1.98	3.4	0.15	13	34	2.09
18	1.25	1.4	2.47	4.3	0.27	9	47	2.30
19	0.77	1.2	0.88	1.5	0.10	9	27	1.65

*SGS: Subgrupo de suelo. A: Argiustol típico, H: Haplustol údico, T: Haplustol típico,
U: Argiustol údico

**Anexo 1. DATOS Y ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS SUELOS DE
PRODUCCIÓN DE POROTO (continuación).**

----- SGS=A -----				
	3 Observations			
	13 Variables	Simple Statistics		
		ZN	ARENA	LIMO
Mean	0.5466666667	42.33333333	36.66666667	21.00000000
StD	0.1871719352	5.77350269	2.51661148	3.60555128
		PH	CE	CO3
Mean	6.400000000	0.8300000000	0	1.933333333
StD	0.692820323	0.2007485990	0	0.404145188
		CN	P	K
Mean	9.666666667	26.33333333	1.840000000	33.33333333
StD	0.577350269	17.89785834	0.167032931	5.68624070
		N		CHS
Mean	0.1100000000			
StD	0.0200000000			
----- SGS=H -----				
	8 Observations			
	13 Variables	Simple Statistics		
		ZN	ARENA	LIMO
Mean	1.701250000	65.87500000	23.87500000	10.25000000
StD	0.762916163	9.43303466	8.04340901	2.31455025
		PH	CE	CO3
Mean	6.675000000	0.6775000000	0.1500000000	1.712500000
StD	0.286605752	0.2772698531	0.3207134903	0.285043856
		CN	P	K
Mean	10.12500000	34.50000000	1.388750000	24.75000000
StD	1.12599163	19.85662898	0.616544229	2.71240536
		N		CHS
Mean	10.09875000			
StD	0.01552647			
----- SGS=T -----				
	3 Observations			
	13 Variables	Simple Statistics		
		ZN	ARENA	LIMO
Mean	0.3933333333	47.66666667	37.00000000	15.33333333
StD	0.1365039682	19.08751774	11.26942767	8.08290377
		PH	CE	CO3
Mean	7.300000000	0.5533333333	0.5333333333	1.766666667
StD	0.2000000000	0.1674315781	0.4725815626	0.650640710
		CN	P	K
Mean	10.00000000	9.000000000	0.9900000000	33.00000000
StD	1.000000000	1.000000000	0.1442220510	8.71779789
		N		CHS
Mean	10.10333333			
StD	0.03511884			

**Anexo 1. DATOS Y ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS SUELOS DE
PRODUCCIÓN DE POROTO (continuación).**

PROC CANDISC (ANALISIS DE DISCRIMINANT0.0638748777E CANONICO Y
GRAFICOS)

----- SGS=U -----

5 Observations

13 Variables

Simple Statistics

	ZN	ARENA	LIMO	ARCILLA
Mean	1.566000000	37.60000000	33.60000000	28.80000000
StD	0.465864787	3.04959014	9.39680797	7.04982269
	PH	CE	CO3	MO
Mean	7.040000000	0.822000000	0.920000000	3.180000000
StD	0.789303490	0.3519517012	0.5805170109	1.070980859
	CN	P	K	CHS
Mean	10.20000000	37.20000000	2.044000000	49.00000000
StD	1.78885438	7.49666593	0.250659131	8.51469318
	N			
Mean	10.18400000			
StD	0.06387487			

19 Observations

13 Variables

Simple Statistics

	ZN	ARENA	LIMO	ARCILLA
Mean	1.276842105	51.84210526	30.52631579	17.63157895
StD	0.776388023	15.57870041	9.75459106	9.13607335
	PH	CE	CO3	MO
Mean	6.826315789	0.720000000	0.3894736842	2.142105263
StD	0.564547120	0.2745096639	0.5216370991	0.873890274
	CN	P	K	CHS
Mean	10.05263158	29.89473684	1.569473684	33.78947368
StD	1.17727011	17.33940514	0.558952132	11.47741235
	N			
Mean	0.12368421			
StD	0.05068536			

Anexo 1. DATOS Y ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS SUELOS DE PRODUCCIÓN DE POROTO (continuación).

Canonical Discriminant Analysis

19 Observations 18 DF Total
 13 Variables 15 DF Within Classes
 4 Classes 3 DF Between Classes

Class Level Information

SGS	Frequency	Weight	Proportion
A	3	3.0000	0.157895
H	8	8.0000	0.421053
T	3	3.0000	0.157895
U	5	5.0000	0.263158

Pairwise Squared Distances Between Groups

$$D^2(i|j) = (\bar{X}_i - \bar{X}_j)' \text{COV}^{-1} (\bar{X}_i - \bar{X}_j)$$

Squared Distance to SGS

From SGS	A	H	T	U
A	0	275.10008	2312	272.37090
H	275.10008	0	1133	86.59135
T	2312	1133	0	1151
U	272.37090	86.59135	1151	0

F Statistics, NDF=12, DDF=4 for Squared Distance to SGS

From SGS	A	H	T	U
A	0	13.33819	77.05056	11.34879
H	13.33819	0	54.91450	5.92078
T	77.05056	54.91450	0	47.94590
U	11.34879	5.92078	47.94590	0

Prob > Mahalanobis Distance for Squared Distance to SGS

From SGS	A	H	T	U
A	1.0000	0.0115	0.0004	0.0155
H	0.0115	1.0000	0.0007	0.0499
T	0.0004	0.0007	1.0000	0.0010
U	0.0155	0.0499	0.0010	1.0000

Anexo 1. DATOS Y ANALISIS ESTADÍSTICOS DE LOS SUELOS DE PRODUCCIÓN DE POROTO (continuación).

PROC CANDISC (ANALISIS DE DISCRIMINANTE CANONICO Y GRAFICOS)

Canonical Discriminant Analysis

Univariate Test Statistics

F Statistics, Num DF= 3 Den DF= 15

Variable	Total STD	Pooled STD	Between STD	R-Squared	RSQ/ (1-RSQ)	F	Pr > F
ZN	0.7764	0.5802	0.6380	0.534587	1.1486	5.7431	0.0080
ARENA	15.5787	9.8502	14.2979	0.666842	2.0016	10.0079	0.0007
ARCILLA	9.1361	5.1184	8.8236	0.738444	2.8233	14.1164	0.0001
CHS	11.4774	6.1001	11.2795	0.764602	3.2481	16.2406	0.0001
PH	0.5645	0.5233	0.3382	0.284101	0.3968	1.9842	0.1597
CE	0.2745	0.2793	0.1143	0.137204	0.1590	0.7951	0.5155
CO3	0.5216	0.4094	0.4090	0.486582	0.9477	4.7387	0.0161
MO	0.8739	0.6496	0.7214	0.539507	1.1716	5.8579	0.0074
N	0.0507	0.0377	0.0419	0.539939	1.1736	5.8681	0.0074
CN	1.1773	1.2739	0.2062	0.024279	0.0249	0.1244	0.9442
P	17.3394	15.5509	11.1900	0.329710	0.4919	2.4595	0.1028
K	0.5590	0.4479	0.4283	0.464834	0.8686	4.3429	0.0216

Average R-Squared: Unweighted = 0.4526385
Weighted by Variance = 0.5365187

Multivariate Statistics and F Approximations

S=3 M=4 N=1

Statistic	Value	F	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00002734	11.8598	36	12.54612	0.0001
Pillai's Trace	2.81074254	7.4257	36	18	0.0001
Hotelling-Lawley Trace	278.59113226	20.6364	36	8	0.0001
Roy's Greatest Root	254.00475277	127.0024	12	6	0.0001

NOTE: F Statistic for Roy's Greatest Root is an upper bound.

Canonical Discriminant Analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Canonical Correlation	Approx Standard Error	Squared Canonical Correlation
1	0.998037	0.996705	0.000924	0.996079
2	0.973414	0.956899	0.012366	0.947535
3	0.931198	0.903657	0.031318	0.867129

**Eigenvalues of INV(E)*H
= CanRsq/(1-CanRsq)**

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	254.0048	235.9445	0.9117	0.9117
2	18.0603	11.5342	0.0648	0.9766
3	6.5261	.	0.0234	1.0000

Test of H0: The canonical correlations in the current row and all that follow are zero

	Likelihood Ratio	Approx F	Num DF	Den DF	Pr > F
1	0.00002734	11.8598	36	12.54612	0.0001
2	0.00697109	4.9896	22	10	0.0060
3	0.13287082	3.9157	10	6	0.0542

ANEXO 2. Especificación de los contrastes de tendencia y ortogonales realizados en el estudio confirmatorio de datos en el experimento en un suelo Haplustol údico.

Variabes: PSRAIZ GRAMAJE NGRANOS NVANAS NTVAINAS PLN TPAZ TN
Con INTERACCION ZnXN significativa

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN Zn0,1,2,4 en N0'		-7	-3	1	9	0	0	0	0
contraste 'CD Zn0,1,2,4 en N0'		7	-4	-8	5	0	0	0	0
contraste 'LN Zn0,1,2,4 en N1'		0	0	0	0	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4 en N1'		0	0	0	0	7	-4	-8	5
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 0'		-1	0	0	0	1	0	0	0
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 1'		0	-1	0	0	0	1	0	0
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 2'		0	0	-1	0	0	0	1	0

Variabes PSGRANOS IC GRA_VAIN PLZN RZN GN TRZN TGN
Con los Factores Zn y N significativos

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN N 0, 1		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
contraste 'Zn 0 vs Zn 1,2,4'		-3	1	1	1	-3	1	1	1
contraste 'LN Zn0,1,2,4		-7	-3	1	9	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4		7	-4	-8	5	7	-4	-8	5
contraste 'Zn 0 vs Zn 1'		-1	1	0	0	-1	1	0	0
contraste 'Zn 1 vs Zn 2'		0	-1	1	0	0	-1	1	0
contraste 'Zn 2 vs Zn 4'		0	0	-1	1	0	0	-1	1

Variabes TPAZN
Con el Factor Zn significativo

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'Zn 0 vs Zn 1,2,4'		-3	1	1	1	-3	1	1	1
contraste 'LN Zn0,1,2,4		-7	-3	1	9	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4		7	-4	-8	5	7	-4	-8	5
contraste 'Zn 0 vs Zn 4'		-1	0	0	1	-1	0	0	1
contraste 'Zn 0 vs Zn 1'		-1	1	0	0	-1	1	0	0
contraste 'Zn 1 vs Zn 2'		0	-1	1	0	0	-1	1	0
contraste 'Zn 2 vs Zn 4'		0	0	-1	1	0	0	-1	1

Variabes GZN TGZN TZN
Con el Factor N significativo

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN N 0, 1		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1

Variabes PSAEREA PSTOTAL NLENAS RN TRN
Análisis de varianza no significativo

ANEXO 2. Tabla resumen de los análisis exploratorios de los datos del ensayo en un suelo Haplustol údico																		
SUELO 1	ANÁLISIS EXPLORATORIOS		TRATAMIENTOS															
	Número	Código	1	2	3	4	5	6	7	8	Media	Desvío	Media	Desvío				
Niveles N-Zn	Homogeneidad (%Pr.-f)	Norma- lidad Shapiro-Wilk (%Pr.-f)	NOZn0	NOZn1	NOZn2	NOZn4	N1Zn0	N1Zn1	N1Zn2	N1Zn4	N1Zn0	N1Zn1	N1Zn2	N1Zn4				
VARIABLES			Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío				
VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE MATERIA																		
PSGRANOS	28,41	20,13	11,19	0,51	12,13	0,42	12,33	0,20	12,31	0,45	11,84	0,34	12,15	0,39	12,52	0,24	12,40	0,31
PSAAREA	45,65	55,53	14,82	0,98	14,48	1,14	13,91	1,61	13,39	1,05	13,25	1,39	13,51	0,75	13,60	0,88	12,92	1,32
PSRAIZ	23,35	25,19	0,44	0,02	0,45	0,02	0,46	0,02	0,45	0,02	0,47	0,01	0,48	0,02	0,44	0,03	0,43	0,02
PSOTAL	49,83	85,84	26,45	0,90	27,06	1,21	26,69	1,72	26,16	1,04	25,56	1,55	26,13	0,92	26,56	0,90	25,75	1,26
IC	68,33	20,31	0,42	0,02	0,45	0,02	0,46	0,03	0,47	0,02	0,46	0,02	0,47	0,01	0,47	0,02	0,48	0,03
COMPONENTES DE PRODUCCIÓN DE MATERIA																		
GRAMAJE	66,98	27,69	53,79	0,91	54,64	0,87	56,59	1,32	54,98	0,88	49,36	0,72	53,75	1,18	60,21	0,81	54,89	0,98
GRAVAIN	35,31	59,32	2,90	0,19	3,29	0,31	3,06	0,37	3,12	0,18	3,17	0,19	3,55	0,25	3,17	0,24	3,25	0,33
NGRANOS	66,74	14,33	20,80	0,84	22,20	0,84	21,80	0,84	22,40	0,89	24,00	0,71	22,60	0,55	20,80	0,45	22,60	0,55
NILLENAS	47,69	39,25	7,20	0,45	6,80	0,84	7,20	0,84	7,20	0,45	7,60	0,55	6,40	0,55	6,60	0,55	7,00	0,71
NIVANAS	66,64	44,95	2,40	0,55	2,80	0,84	2,20	0,84	2,20	0,84	1,40	0,55	2,60	0,89	4,00	0,71	2,80	0,45
NTVAINAS	26,25	44,92	9,60	0,55	9,60	0,55	9,40	1,14	9,40	0,55	9,00	0,71	9,00	0,71	10,60	0,55	9,80	0,84
CONCENTRACIÓN DE NUTRIMENTOS																		
GN	18,05	91,71	3,52	0,11	3,40	0,11	3,31	0,09	3,23	0,10	3,61	0,20	3,65	0,17	3,79	0,05	3,45	0,09
PLN	50,14	31,33	1,40	0,09	1,10	0,03	1,28	0,05	1,22	0,11	1,09	0,10	1,27	0,09	1,27	0,12	1,29	0,10
RN	19,88	88,63	1,80	0,18	1,80	0,12	1,83	0,19	1,88	0,20	1,67	0,07	1,64	0,10	1,60	0,06	1,68	0,10
GZN	16,06	28,46	28,17	3,97	25,17	2,79	25,75	1,25	25,92	2,18	31,75	2,05	33,83	0,76	29,50	2,14	26,75	2,18
PLZN	18,78	41,36	28,75	0,25	22,67	1,18	26,17	1,26	29,08	1,01	32,83	2,02	28,00	2,00	29,17	0,63	30,50	1,89
RZN	30,00	21,83	25,75	3,03	59,17	3,82	53,33	8,78	48,33	10,10	45,83	8,04	57,58	4,40	65,83	6,29	60,83	8,04
ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS																		
TGN	37,55	25,52	3,87	0,18	4,16	0,13	4,10	0,11	3,97	0,30	4,24	0,29	4,45	0,23	4,76	0,18	4,26	0,24
TPAN	12,36	99,58	2,14	0,17	1,62	0,10	1,77	0,33	1,72	0,18	1,35	0,15	1,66	0,12	1,79	0,12	1,78	0,21
TRN	28,80	63,22	0,08	0,01	0,08	0,01	0,09	0,01	0,09	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01
TN	17,18	58,19	6,09	0,24	5,86	0,15	5,95	0,41	5,77	0,33	5,67	0,38	6,69	0,15	6,62	0,14	6,12	0,20
TGZN	20,34	62,24	309,62	41,85	308,51	41,20	318,78	20,82	317,73	21,37	373,12	31,12	412,78	3,18	370,08	17,72	330,64	29,18
TPAZN	23,20	36,84	439,35	21,01	333,99	45,15	358,79	39,21	411,51	22,03	404,54	7,18	365,23	32,19	413,79	23,38	421,53	27,76
TRZN	51,43	24,83	11,25	1,98	27,41	0,56	25,03	3,57	27,73	4,07	21,41	3,26	27,39	3,41	29,18	4,01	26,62	3,76
TZLN	11,90	97,23	760,22	47,87	669,91	79,11	702,60	58,19	750,97	20,01	799,06	35,57	805,39	32,46	813,04	33,59	778,79	26,97

ANEXO 3. Especificación de los contrastes de tendencia y ortogonales realizados en el estudio confirmatorio de datos en el experimento en un suelo Argiustol típico.

**VARIABLES: PSGRANOS PSAEREA PSTOTAL IC NGRANOS NLLENAS
PLZN RZN TGZN TPAZN TZN TGN TN**
Con INTERACCION ZnXN significativa

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN Zn0,1,2,4 en N0'		-7	-3	1	9	0	0	0	0
contraste 'CD Zn0,1,2,4 en N0'		7	-4	-8	5	0	0	0	0
contraste 'LN Zn0,1,2,4 en N1'		0	0	0	0	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4 en N1'		0	0	0	0	7	-4	-8	5
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 0'		-1	0	0	0	1	0	0	0
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 1'		0	-1	0	0	0	1	0	0
contraste 'LN N 0, 1 en Zn 2'		0	0	-1	0	0	0	1	0

VARIABLES GRAMAJE NVANAS TRZN
Con los Factores Zn y N significativos

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN N 0, 1		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
contraste 'Zn 0 vs Zn 1,2,4'		-3	1	1	1	-3	1	1	1
contraste 'LN Zn0,1,2,4		-7	-3	1	9	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4		7	-4	-8	5	7	-4	-8	5
contraste 'Zn 0 vs Zn 1'		-1	1	0	0	-1	1	0	0
contraste 'Zn 1 vs Zn 2'		0	-1	1	0	0	-1	1	0
contraste 'Zn 2 vs Zn 4'		0	0	-1	1	0	0	-1	1

VARIABLES GN
Con el Factor Zn significativo

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'Zn 0 vs Zn 1,2,4'		-3	1	1	1	-3	1	1	1
contraste 'LN Zn0,1,2,4		-7	-3	1	9	-7	-3	1	9
contraste 'CD Zn0,1,2,4		7	-4	-8	5	7	-4	-8	5
contraste 'Zn 0 vs Zn 4'		-1	0	0	1	-1	0	0	1
contraste 'Zn 0 vs Zn 1'		-1	1	0	0	-1	1	0	0
contraste 'Zn 1 vs Zn 2'		0	-1	1	0	0	-1	1	0
contraste 'Zn 2 vs Zn 4'		0	0	-1	1	0	0	-1	1

VARIABLES NTVAINAS TPAN
Con el Factor N significativo

Tratamiento	COD =	A	B	C	D	E	F	G	H
contraste 'LN N 0, 1		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1

VARIABLES PSRAIZ GRA_VAIN GZN PLN RN TRN
Análisis de varianza no significativo

ANEXO 3. Tabla de los análisis exploratorios de las observaciones del ensayo en un suelo Arguistol típico																			
SUELO2	ANÁLISIS EXPLORATORIOS		TRATAMIENTOS																
	Número	Homogeneidad (%Pr.<F)	Norma- lidad Shapiro-Wilk (%Pr.<sw)	1		2		3		4		5		6		7		8	
				A	B	C	D	E	F	G	H	N0Zn0	N0Zn1	N0Zn2	N0Zn4	N1Zn0	N1Zn1	N1Zn2	N1Zn4
Niveles N-Zn	VARIABLES	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío
VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE MATERIA																			
PSGRANOS	79,34		38,55	10,30	0,38	10,79	0,38	11,15	0,58	9,71	0,50	10,91	0,51	11,69	0,48	12,11	0,539	13,05	0,24
PSAEREA	13,29		80,30	10,49	0,93	11,20	0,66	11,60	0,58	10,77	0,24	12,86	0,63	11,84	0,64	12,38	0,51	13,37	1,19
PSRAIZ	66,23		70,29	0,47	0,04	0,48	0,03	0,50	0,02	0,45	0,03	0,44	0,03	0,46	0,04	0,48	0,05	0,46	0,03
PSOTAL	63,73		10,46	21,26	1,11	22,47	0,75	23,24	0,90	20,93	0,73	24,22	1,00	23,98	0,96	24,97	0,14	26,88	1,10
IC	41,32		80,48	0,49	0,02	0,48	0,02	0,48	0,01	0,46	0,01	0,45	0,01	0,49	0,01	0,48	0,02	0,49	0,02
COMPONENTES DE PRODUCCIÓN DE MATERIA																			
GRAMAJE	17,97		42,05	57,95	2,53	60,71	2,23	54,15	1,74	54,73	3,05	59,42	2,37	60,30	1,35	55,03	1,05	58,31	1,32
GRAVAIN	34,17		86,39	3,01	0,43	2,79	0,20	2,66	0,20	2,66	0,45	2,72	0,31	2,70	0,24	3,10	0,45	2,75	0,20
NGRANOS	30,67		29,49	17,80	0,84	17,80	1,10	20,60	1,14	17,80	1,64	18,40	1,34	19,40	1,14	22,00	0,71	22,40	0,89
NLLENAS	60,95		13,04	6,00	0,71	6,40	0,55	7,80	0,84	6,80	0,84	6,80	0,45	7,20	0,45	7,20	0,84	8,20	0,84
NVANAS	26,63		61,16	3,40	0,55	3,20	0,84	1,80	0,84	2,00	0,71	4,20	0,84	3,80	1,48	4,00	0,71	3,20	0,84
NTVAINAS	38,69		95,19	9,40	1,14	9,60	0,89	9,60	0,55	8,80	0,84	11,00	0,71	11,00	1,41	11,20	0,84	11,40	0,55
CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTOS																			
GN	73,80		15,66	3,33	0,09	3,32	0,10	3,45	0,07	3,29	0,09	3,42	0,11	3,45	0,07	3,52	0,09	3,26	0,05
PLN	30,91		28,73	1,21	0,15	1,22	0,09	1,10	0,11	1,16	0,14	1,16	0,09	1,20	0,21	1,50	0,22	1,20	0,15
RN	39,53		20,24	1,87	0,23	1,56	0,18	1,73	0,18	1,41	0,22	1,83	0,29	1,65	0,15	1,50	0,03	1,84	0,24
GZN	30,63		32,02	25,08	0,52	24,83	0,52	26,08	1,38	27,25	1,56	26,58	1,38	25,92	1,66	26,33	1,04	27,25	0,87
PLZN	21,13		78,31	23,08	1,51	25,08	0,52	28,08	3,41	35,08	1,94	28,17	2,98	27,00	2,25	23,42	2,67	28,83	1,18
RZN	37,00		43,63	15,83	2,89	38,17	3,18	49,08	3,15	42,75	4,63	37,50	5,00	40,83	3,82	47,75	2,14	57,92	1,91
ABSORCIÓN DE NUTRIENTOS																			
TGN	11,90		60,85	3,38	0,10	3,59	0,07	3,79	0,21	3,11	0,08	3,82	0,18	4,00	0,18	4,26	0,30	4,22	0,14
TPAN	17,45		36,10	1,22	0,21	1,33	0,08	1,23	0,10	1,24	0,17	1,53	0,17	1,38	0,26	1,86	0,35	1,62	0,28
TRN	44,61		20,77	0,08	0,01	0,07	0,01	0,09	0,01	0,06	0,00	0,08	0,02	0,07	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01
TN	36,40		22,93	4,68	0,25	4,99	0,02	5,11	0,28	4,41	0,23	5,43	0,12	5,45	0,27	6,19	0,34	5,92	0,24
TGZN	11,50		46,93	254,70	1,66	269,01	7,68	287,14	21,09	257,53	17,01	297,23	23,03	300,95	32,60	319,23	25,02	352,57	6,03
TPAZN	15,70		82,62	231,23	31,14	280,19	15,41	314,64	36,05	374,71	24,59	372,45	49,82	308,45	19,56	289,08	37,64	386,89	6,08
TRZN	26,08		57,53	7,17	1,72	18,46	3,27	21,29	0,97	19,72	3,36	15,84	1,81	18,45	2,88	23,32	4,38	26,22	2,91
TZN	16,92		97,83	493,10	30,94	567,66	23,27	623,07	56,75	651,96	34,95	685,52	55,13	627,85	38,90	631,64	22,88	765,68	9,09