

**Universidad Nacional Agraria  
La Molina**

Escuela de Post-Grado  
Especialidad de Suelos



**Efecto de la aplicación de  
materia orgánica y enmienda  
cálcica sobre el contenido de  
boro en un suelo de la  
Costa Sur**

*Tesis para optar el Grado de  
Magister Scientiae*

Julio César Nazario Ríos

LIMA - PERU

**1998**

## INDICE

I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El boro en la naturaleza	3
2.2 El boro en los suelos del Perú	5
2.3 Factores que afectan al boro en el suelo	6
2.3.1 Reacción del suelo	7
2.3.2 Textura	8
2.3.3 Oxidos-hidróxidos de Fe y Al	10
2.3.4 Materia orgánica	10
2.3.5 Calcio y carbonatos	11
2.3.6 Salinidad	13
2.4 La Relación calcio/boro (Ca/B)	15
2.5 Interacciones con otros nutrientes	16
2.6 El boro en la fisiología	17
2.6.1 Absorción y movimiento del boro en la planta	17
2.6.2 Funciones del boro	18
2.6.2.1 Crecimiento meristemático	18
2.6.2.2 Movimiento y utilización de los glúcidos	19

2.6.2.3 Fitohormonas	19
2.6.2.4 Otras funciones	20
2.7 Toxicidad de boro	20
III MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Ubicación	22
3.2 Características de las lomas de Sama	22
3.2.1 Características físicas y geomorfológicas	24
3.2.2 Suelo en estudio	25
3.3 Prueba biológica	27
3.4 Materiales	27
3.4.1 Materiales de invernadero	27
3.4.2 Materiales y equipo de laboratorio	28
3.5 Metodología	28
3.5.1 Instalación del experimento	28
3.5.2 Conducción del experimento	30
3.6 Diseño experimental	31
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Peso de materia seca de alfalfa en el primer corte	33
4.2 Peso de materia seca de alfalfa en el segundo corte	37
4.3 Concentración de boro en el suelo luego del primer corte	39

4.4 Concentración de boro en el suelo luego del segundo corte	43
4.5 Concentración de calcio en el suelo luego del primer corte	45
4.6 Concentración de calcio en el suelo luego del segundo corte	49
4.7 Concentración de magnesio en el suelo luego del primer corte	51
4.8 Concentración de magnesio en el suelo luego del segundo corte	54
4.9 Concentración de boro foliar luego del primer corte	56
4.10 Concentración de boro foliar luego del segundo corte	60
4.11 Concentración de calcio foliar luego del primer corte	61
4.12 Concentración de calcio foliar luego del segundo corte	65
4.13 Concentración de magnesio foliar luego del primer corte	66
4.14 Concentración de magnesio foliar luego del segundo corte	70
V CONCLUSIONES	72
VI RECOMENDACIONES	75
VII BIBLIOGRAFÍA	76
VIII APÉNDICE	

## **Relación de Cuadros**

Cuadro 1. Análisis de caracterización del suelo en estudio	26
Cuadro 2. Tratamientos, factores y niveles en estudio	32
Cuadro 3. Peso promedio de materia seca parte aérea de alfalfa San Pedrito	34
Cuadro 4. Concentración de boro en el suelo	40
Cuadro 5. Concentración de calcio en el suelo	47
Cuadro 6. Concentración de magnesio en el suelo	52
Cuadro 7. Concentración de boro foliar	57
Cuadro 8. Concentración de calcio foliar	63
Cuadro 9. Concentración de magnesio foliar	68

## **Relación de Gráficos**

Gráfico 1. Plano de ubicación de las lomas de Sama	23
Gráfico 2. Peso promedio de materia seca parte aérea de alfalfa San Pedrito	35
Gráfico 3. Concentración de boro en el suelo	41
Gráfico 4. Concentración de calcio en el suelo	48
Gráfico 5. Concentración de magnesio en el suelo	53
Gráfico 6. Concentración de boro foliar	58
Gráfico 7. Concentración de calcio foliar	64
Gráfico 8. Concentración de magnesio foliar	69

## **INTRODUCCION**

Gran parte de los suelos de los valles de la costa sur del Perú presentan altos niveles de boro, lo que debería provocar síntomas de toxicidad y disminución en los rendimientos de los cultivos a causa de este problema. Sin embargo, en muchas especies sembradas en la zona, aun en algunas consideradas sensibles, no se aprecian tales problemas.

Las lomas de Sama en Tacna representan un importante hectareaje de tierras criazas que se incorporarán a la agricultura cuando se cuente con la disponibilidad de agua. Sus suelos han sido estudiados encontrándose alta concentración de sales y boro, al igual que en los ríos de la zona (Sama y Locumba). Los suelos del valle de Sama, ubicado a pocos kilómetros de las lomas, presentan similares problemas posibilitando, a pesar de esas limitaciones, la siembra de varios cultivos, destacando los forrajeros de alfalfa y maíz chala, que constituyen el 75% del área sembrada.

En el Estudio Integral de las lomas de Sama, se menciona que la solución al alto contenido de boro en esos suelos es el uso de cultivos tolerantes, entre los que se encuentran la alfalfa y el maíz. Pero también se sabe que en los suelos el pH y calcio reducen la absorción de boro, ocurriendo además ciertos procesos que disminuyen el contenido de boro asimilable por las plantas, tales como su adsorción por constituyentes del suelo y enmiendas. La importancia de estos

procesos radica en que se pueden realizar prácticas de manejo ( aplicación de materia orgánica y enmiendas cálcicas ) con el propósito de reducir la cantidad de boro asimilable. El lavado de estos suelos para disminuir el tenor de sales puede también tener incidencia en la reducción de la concentración de boro.

Por lo expuesto, los objetivos del presente trabajo son:

- Determinar la concentración de boro soluble luego del lavado del suelo.
- Efecto de la aplicación de materia orgánica y una enmienda cálcica sobre el contenido de boro disponible del suelo y de la planta.
- Efecto del boro presente en el agua de riego.

## **II REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 El boro en la naturaleza**

El boro, único elemento no metal entre los micronutrientes, tiene una valencia constante de +3 y un radio iónico muy pequeño (Krauskopf, 1977).

Sus principales minerales más corrientes son los siguientes:

- Boratos hidratados : borax  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , colemanita  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Boratos anhidros : ludwigita  $\text{Mg}_2\text{FeBO}_5$
- Borosilicatos complejos : turmalina, axinita

Entre las rocas ígneas, el boro es más abundante en los granitos que en los basaltos y se encuentra bajo forma de borosilicatos. La turmalina (3 a 4% de B) es el más común de los minerales boratados y constituye un mineral complementario de las rocas graníticas. El origen del boro en la mayor parte de los suelos es, precisamente, la turmalina.

El boro es en cantidad el doceavo elemento del agua de mar. Bradford (1966), menciona que pertenece a un grupo de elementos que tienen altos potenciales iónicos y forma aniones complejos solubles durante la formación de sedimentos marinos. El agua de mar contiene entre 4,0 y 5,0 ppm de boro, es por ello que en los suelos derivados de sedimentos marinos es más probable encontrar

mayores contenidos de este elemento que en suelos derivados de rocas ígneas, con algunas arcillas que contienen hasta 200 ppm. En las rocas sedimentarias ( Loué, 1988) se encuentra bajo forma de borosilicatos así como en los minerales arcillosos y bajo forma de boratos cálcicos o magnésicos en los depósitos salinos. Sin embargo, ciertas rocas metamórficas, los esquistos en particular, los que presentan contenidos mucho más elevados (más de 100 ppm). La alteración de las rocas que contienen boro dan boratos y principalmente la forma ácida no disociada,  $H_3BO_3$ .

Los depósitos de boro utilizables están representados por las acumulaciones de minerales boratados hidratados formados por la evaporación del agua de mar y sobre todo de los lagos salados (boratos de sodio y calcio).

En el suelo, el contenido de boro total varía de 2 a 200 ppm, pero debido a la extrema insolubilidad de sus compuestos nativos, su contenido total es de poco valor como un índice de disponibilidad por lo que la mayor parte no es asimilable por las plantas. En estudios realizados en Francia acerca de la distribución del boro total en las fracciones granulométricas de diversos suelos, se halló que el contenido en boro de la arcilla presentaba una cierta constancia hacia 60 ppm pero no era demasiado explicativo del contenido total del suelo. Por el contrario, en otras fracciones granulométricas, correlaciones positivas altamente significativas se han obtenido entre el boro de la fracción y el boro del suelo y la participación de los limos en el contenido en boro de los suelos era dominante.

También se ha encontrado en otros suelos que el boro de la fracción arcillosa podía representar el 60% del boro total del suelo.

El boro total de los suelos está bajo cuatro formas: en el interior de los minerales silicatados (prácticamente no disponible para las plantas); adsorbido sobre los minerales arcillosos y los hidróxidos de hierro y de aluminio, ligado a la materia orgánica y en solución (Loué, 1988).

En la solución suelo, el boro se presenta principalmente como ácido bórico  $H_3BO_3$  o como anión boratado  $B(OH_4)^-$  (Loué, 1988; Mengel y Kirkby, 1978).

## **2.2 El boro en los suelos del Perú**

En el Perú, los suelos de la costa sur se caracterizan por presentar altas concentraciones de boro (Bazán et al., 1973), las cuales se pueden deber a :

- La presencia de materiales parentales de origen volcánico o marino, portadores generalmente de boro, sobre los cuales se han desarrollado dichos suelos.
- El agua de irrigación y las aguas subterráneas que riegan estos suelos, que llevan cierto contenido de boro y que unido a un mal drenaje pueden dar lugar a la acumulación de este elemento.

El boro se encuentra en casi todas las aguas naturales y su concentración varía desde trazas hasta varias partes por millón. En el río Locumba, en Tacna, se ha encontrado niveles de boro de 18 ppm (ONERN, 1987).

La ONERN (1970) señala que la concentración de boro en el valle de Sama es mayor que el nivel propuesto como normal por el Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En los suelos de salinidad ligera y drenaje bueno, el rango promedio de boro es 2,0 y 7,0 ppm, es decir entre alto y excesivo. Los suelos de salinidad fuerte a excesiva y drenaje bueno presentan un contenido de boro excesivo (7-170 ppm) y los suelos de salinidad fuerte a excesiva y drenaje imperfecto a pobre tienen un contenido de boro también excesivo, con un rango de 10 a 480 ppm.

Lo mencionado en el párrafo precedente concuerda con lo expresado por diversos investigadores (Hatcher y Bower, 1958; Keren et al., 1981; Mezuman y Keren, 1981) quienes dicen que los mayores niveles de boro ocurren más frecuentemente en los suelos de zonas áridas y semiáridas, en razón del origen de esos suelos o bien al riego con aguas con elevadas concentraciones de este elemento.

### **2.3 Factores que afectan al boro en el suelo**

Elrashidi y O'Connor (1982), compilan los trabajos de varios autores y concluyen que el comportamiento del boro en los suelos es afectado por diversos

factores, siendo éstos: el pH del suelo, los óxido-hidróxidos de Fe y Al, el contenido de arcilla y superficie específica, el contenido de materia orgánica, los carbonatos de calcio y magnesio y la salinidad del suelo. Estos factores influyen en la solubilidad y sorción del boro en los suelos.

### **2.3.1 Reacción del suelo**

La adsorción del boro es dependiente del pH del suelo y de su concentración en solución. Debajo de pH 7,0 predomina el  $H_3BO_3$ , pero como la afinidad de la arcilla por esta especie es relativamente baja, la adsorción es pequeña. Tanto las concentraciones de  $B(OH_4)^-$  como de  $(OH)^-$  son bajas a este pH, de ahí que su contribución a la adsorción total de boro sea mínima a pesar de su fuerte afinidad por la arcilla. A medida que el pH se incrementa hasta 9, la concentración de  $B(OH_4)^-$  aumenta, y puesto que la concentración de  $OH^-$  es aún baja en comparación a la concentración de boro, la cantidad de boro adsorbido se incrementa rápidamente. Si el pH se elevara más, la concentración de  $OH^-$  sería mayor en comparación con la de  $B(OH_4)^-$ , disminuyendo por consiguiente la adsorción debido a la competencia de  $OH^-$  por los sitios de adsorción (Keren et al., 1981; Mc Phail et al., 1972). Midgley y Dunklee (1939), en un estudio sobre el efecto de diferentes niveles de encalado sobre el pH y boro fijado en un Podzol, encontraron que conforme se incrementaba el pH desde 5,0, el boro fijado también aumentaba, alcanzando un máximo a pH 7,4, decreciendo posteriormente pero manteniendo todavía niveles significativos de fijación a pH 8,3.

Un gran número de autores ha observado correlaciones negativas entre la absorción de boro por las plantas y el pH del suelo. Por ejemplo, Bingham y Elseewi (1970) señalan que la absorción de boro está más directamente relacionada a la concentración de  $H_3BO_3$  que a la de  $B(OH)_4^-$ , por ello, dicen, a pH alcalinos la absorción es menor ya que predomina la especie  $B(OH)_4^-$  o se encuentra compitiendo con los  $OH^-$ . Peterson y Newman (1976) encontraron una gran disminución en la absorción de boro entre pH 6,3 y 7,4 en festuca cultivada a diferentes pH, lo que explican como una mayor capacidad de fijación de boro a pH 7,4. Es así que encalando suelos ácidos y elevando sus pH, el contenido de boro disminuye tanto en el suelo como en la planta. Fox (1968a) considera que la reducida absorción a pH altos puede ser consecuencia de un mecanismo fisiológico de absorción que está siendo bloqueado.

### **2.3.2 Textura**

Con respecto a la textura, Bazán (1971) encontró que las plantas desarrolladas en un suelo franco arenoso presentaron síntomas más intensos de toxicidad que las desarrolladas en un suelo franco, debido a que un suelo de textura más fina adsorbe más boro, disminuyendo el disponible. Wear y Patterson (1962) también encontraron similares resultados, indicando que la alfalfa cultivada en un suelo de textura gruesa absorbió más boro que la cultivada en un suelo de textura fina. Elrashidi y O'Connor (1982) señalan que la interrelación entre el contenido de arcilla y la superficie específica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) dentro de los suelos, puede explicar la alta

correlación de estos dos últimos parámetros con las propiedades de adsorción de boro de los suelos.

El tipo de arcilla también influye. Harder mencionado por Goldberg y Glaubig (1986b) concluye que el orden creciente de adsorción de boro es : caolinita, montmorillonita, illita. A diferencia de la adsorción sobre caolinita y montmorillonita, la adsorción de boro sobre una muestra de arcilla que contenía illita y clorita no fue fácilmente reversible por medio del lavado con agua destilada, lo que se supone es debido a la incorporación del boro dentro de los látiices de illita y clorita sustituyendo los iones aluminio y silicio del tetraedro. Otra explicación es que el boro fue inicialmente quemisorbido sobre las partículas de illita y posteriormente fue incorporado dentro de los sitios tetraedrales. Cuando el boro es adsorbido como  $B(OH)_4^-$  sobre los bordes de las partículas, migra por difusión intercrystalina dentro de los sitios tetraedrales donde reemplaza al silicio y aluminio estructurales. Keren y Talpaz (1984) sugirieron que la adsorción en los bordes rotos de las arcillas puede ser a través de un mecanismo de intercambio de ligantes, por medio del cual la especie adsorbida (B) desplaza al OH<sup>-</sup> de la superficie y forma en cierto modo enlaces covalentes con los cationes estructurales. Tal adsorción específica puede ocurrir independientemente del signo de la carga neta superficial y comprende a las especies de boro,  $H_3BO_3$  y  $B(OH)_4^-$  (Hingston et al., 1972). Esto significa que el boro es adsorbido principalmente en los bordes rotos de las arcillas en forma de placas antes que sobre las superficies planas, ya que la estructura atómica de ambas superficies es completamente diferente.

### **2.3.3 Oxidos-hidróxidos de Fe y Al**

En relación a los óxidos-hidróxidos de Fe y Al, Sims y Bingham (1967) encontraron que la baja retención de boro por la montmorillonita a la que se le dejó libre de Fe y Al extraños, la relativa alta retención de boro por los materiales de caolinita y vermiculita a los cuales no se les eliminó el Fe y Al extraños y el requerimiento para la entrada a las posiciones entre capas para la máxima retención por los silicatos de capa 2:1, sugieren que las formas de Fe y Al (presentes en los adsorbentes como materiales entre capas, como revestimientos sobre partículas individuales o como impurezas) son los responsables para la retención de boro en sus estudios. Ellos postulan que el mecanismo de retención de boro debe ser un intercambio de ligantes en los grupos hidroxilos, aunque mencionan también un mecanismo de enlace hidrógeno. Esta adsorción depende mucho del pH, siendo máxima en el rango alcalino. Los materiales de hidróxidos de Al retienen boro en mayores cantidades que los hidróxidos de Fe. Igualmente se ha demostrado que el boro podría ser adsorbido por los minerales ferromagnésicos y los hidróxidos de Mg de una forma parecida a la retención por los hidróxidos de Fe y Al (Loué, 1988).

### **2.3.4 Materia orgánica**

La materia orgánica juega un rol importante en la disponibilidad del boro en los suelos. Una parte del boro es retenida en la materia orgánica de los suelos y liberada progresivamente por acción de los microorganismos con la

mineralización (Mahler et al.,1985; Sillanpää, 1982). Loué (1988) señala que solamente 1,3% del boro total del suelo se encontraba soluble después de la destrucción de la materia orgánica con el agua oxigenada en ciertos suelos franceses. Gupta (1968) asoció la mayor retención de boro en los horizontes superficiales con contenidos altos de materia orgánica. De esta manera, Parker y Gardner (1982) consideran que la materia orgánica puede ser importante en la movilidad del boro. El mecanismo que se plantea para la retención del boro por la materia orgánica es la formación de un complejo entre compuestos dihidroxi-orgánicos y el boro. Estos son productos intermedios de la descomposición de la materia orgánica y haría al boro temporalmente no disponible (Loué, 1988; Gupta, 1979; Elrashidi y O'Connor, 1982).

### **2.3.5 Calcio y carbonatos**

La influencia del calcio sobre la absorción y adsorción de boro es destacada por varios autores. Tanaka (1967) reporta que la absorción de boro por el rabanito se redujo cuando el contenido de calcio del medio aumentó. Dionne y Pesant (1978) manifiestan que el sobreencalado en suelos ácidos puede causar una reducción significativa del índice de asimilabilidad del boro. Fox (1968b) señala que la tolerancia a altas concentraciones de boro en los suelos de la Costa Sur del Perú debe estar relacionada no sólo al pH elevado sino también a las altas concentraciones de calcio en los suelos de la zona.

Gupta y McLeod (1977) condujeron experimentos para separar los efectos del pH y del calcio sobre la asimilación del boro en comparación con las formas de calcio aplicadas. Encontraron que en ausencia de boro adicionado, los signos de deficiencia sobre colinabo eran más graves con la forma de carbonato que como Sulfato y los contenidos de boro en las plantas eran inferiores; estas diferencias eran imputables a las diferencias en el pH del suelo que generó cada fuente: el carbonato elevó el pH, lo que redujo la absorción de boro.

Elseewi y Elmalky (1979) hallaron que se desorbía más boro en un suelo ligeramente calcáreo que en uno con alto contenido de carbonato, por lo que concluyeron que el carbonato de calcio juega una función importante en la retención del boro en el suelo. Porta et al. (1994) sostienen que en suelos calizos la toxicidad de boro es menor, puesto que se forma metaborato cálcico, cuya solubilidad es muy baja, lo que también puede lograrse aportando yeso. Bishop y Cook (1958) reportan en estudios de laboratorio que los carbonatos de calcio y Magnesio fueron igualmente efectivos en disminuir el boro disponible en el suelo mientras que el yeso (Sulfato de calcio dihidratado) fue inefectivo. Noya (1974) al comparar el efecto de diversas fuentes de calcio aplicadas al suelo sobre la absorción de boro por el maíz, obtuvo mejores resultados cuando se aplicaron mezclas de carbonato de calcio y yeso que cuando éstos se aplicaron individualmente, logrando una baja absorción de boro por las plantas y un mayor rendimiento.

### 2.3.6 Salinidad

Bazán et al. (1971) indican que en los suelos de la Costa, los problemas de salinidad están acompañados de la presencia de boro. Encontraron buena correlación entre estas dos variables en tres valles estudiados, donde no se reportaron efectos tóxicos de boro, a pesar de sus altos niveles.

Una de las prácticas de manejo de suelos salinos es el lavado de sales, que de paso puede disminuir o lavar el boro. Reeve et al. (1953) hallaron que la eficiencia con la que el boro es eliminado del suelo es menor comparado con el lavado de sales, explicando que la causa de esta aparente baja tasa de disolución está relacionada al fenómeno de adsorción. De esta manera, Eaton mencionado por Hatcher y Bower (1958) observó que la toxicidad del boro se alivia más rápidamente en un suelo de textura gruesa que en uno arcilloso debido al bajo poder de adsorción y al movimiento más rápido del boro en el perfil del primer suelo.

Así como el boro presente en la solución suelo se equilibra con las superficies sólidas, el boro aplicado vía riego lo hace también (Goldberg y Glaubig, 1986). Jame et al. (1982) mencionan que durante los primeros años de riego, el boro aplicado en él es adsorbido por el suelo, dependiendo de la clase de éste y de los constituyentes con poder de adsorción, lo que resulta en bajas concentraciones de boro en la solución suelo, creciendo los cultivos sensible al boro satisfactoriamente. Pero la solución suelo alcanza gradualmente su máxima

concentración, la cual puede ser igual o exceder a la del agua de riego, siendo a ese nivel en que los cultivos reducen sus rendimientos.

De todo lo expuesto, se puede decir que suelos presentan altos y bajos niveles de boro.

Los suelos deficientes en boro son los siguientes:

- Suelos naturalmente bajos en boro, tales como los derivados de rocas ígneas ácidas o depósitos sedimentarios de aguas frescas.
- Suelos de naturaleza ácida en los cuales gran parte del contenido de boro original ha sido eliminado por lavado, debido a la alta precipitación.
- Suelos arenosos.
- Suelos turbosos.
- Suelos alcalinos, especialmente aquellos que tienen carbonatos libres y con condiciones climáticas secas e intensidad luminosa elevada.
- Suelos irrigados donde el contenido de boro en el agua es bajo y donde ha ocurrido deposición de sales o carbonatos.

En contraparte, los suelos donde es más probable que se presente exceso de boro son:

- Suelos derivados de sedimentos marinos.
- Suelos de zonas áridas.

- Suelos derivados de material parental rico en minerales de boro.
- Suelos derivados de depósitos geológicamente jóvenes.

#### **2.4 La Relación calcio/boro ( Ca/B )**

Las relaciones Ca/B en el tejido de las hojas también se han considerado como indicadores del estado de boro de los cultivos. Las relaciones Ca/B mayores de 1370 en las hojas de cebada (Gupta, 1972) y de más de 3300 en el tejido foliar de colinabo (Gupta y Cutcliffe, 1972) fueron indicadores de deficiencia de boro. Las mayores relaciones Ca/B como indicadores de la deficiencia de boro están relacionadas probablemente a las mayores concentraciones de calcio en el tejido foliar.

Sin embargo, el mismo Gupta años después (1979), señala que el uso de la relación Ca/B en la evaluación del nivel de boro de las plantas debe ser analizado en relación de la suficiencia de los otros nutrientes en el medio de crecimiento y en la planta. Las concentraciones de los dos elementos son también importantes, ya que una deficiencia o toxicidad de uno o de ambos elementos podría dar una falsa relación para determinar el nivel de nutrientes. Es por ello que la relación Ca/B no debe tener la misma importancia que el nivel de los elementos individuales.

## **2.5 Interacciones con otros Nutrientes**

En lo que concierne al nitrógeno, fósforo y potasio, la interacción más importante es nitrógeno y boro. Se ha demostrado que las fertilizaciones nitrogenadas en grandes cantidades pueden atenuar los excesos de boro. Varios estudios han mostrado que las fertilizaciones con nitrógeno disminuían la absorción de boro por las plantas. Una elevada fertilización nitrogenada podría inducir una deficiencia. La necesidad de boro se ve incrementada en presencia de niveles elevados de nitratos.

Los efectos de fósforo, potasio y azufre sobre la asimilación de boro son menos claros que los correspondientes al nitrógeno. Así, se ha demostrado una absorción un poco mayor de boro con un suministro alto de fósforo. Una deficiencia relativa en fósforo en relación al nitrógeno y potasio favorece la aparición de la deficiencia de boro, en ausencia de una aplicación de este elemento. El efecto del ion sulfato sobre el contenido de las plantas en boro parece ser muy ligero y depender de las especies.

El sentido de la interacción potasio y boro parece depender de la riqueza de boro en el medio nutritivo. La tendencia muestra más bien que las aplicaciones crecientes de Potasio provocan una ligera reducción de la absorción de boro.

## **2.6 El boro en la fisiología**

### **2.6.1 Absorción y movimiento del boro en la planta**

El boro es un elemento esencial en la nutrición vegetal siendo requerido para el normal crecimiento de todas las plantas vasculares en cantidades bajas, por lo que es un micronutriente. Ni los hongos ni las algas de agua dulce parecen tener necesidades de boro.

Es absorbido por las plantas bajo la forma de ácido bórico no disociado ( $H_3BO_3$ ). Sin embargo, existe considerable desacuerdo en lo que respecta a que si su absorción por las raíces de las plantas es activa o pasiva. Diversos investigadores han demostrado que la absorción de boro es un proceso no metabólico. Uno de ellos es Tanaka (1967), quien reportó que parte del boro absorbido por las raíces de girasol lo era pasivamente formándose un complejo de borato y polisacáridos en el espacio libre. Esta suposición se basó principalmente en la estequiometría entre la absorción de boro y la liberación de  $H^+$ . Bingham y Elsewji (1970) llegaron a la misma conclusión trabajando sobre raíces seccionadas de cebada.

El boro es relativamente inmóvil en las plantas y generalmente su contenido se incrementa de las partes inferiores a las superiores de la planta (Mengel y Kirkby, 1978). La tasa de transpiración tiene una decisiva influencia sobre el transporte hacia las partes superiores de la planta, lo cual sugiere que es

translocado principalmente en el xilema y es en gran parte inmóvil en el floema. Este transporte se hace bajo formas inorgánicas o bajo forma de complejos borato-azúcares. Esto explica la acumulación de boro en las puntas y márgenes de las hojas. El movimiento de boro junto con la corriente transpiratoria también explica el hecho que la deficiencia de este elemento comience siempre en las puntas de crecimiento.

Loué (1988) concluye que los principales factores de los que depende la acumulación de boro en las hojas son: el contenido de boro disponible en el suelo, el flujo de savia en el xilema y el ritmo de la transpiración.

## **2.6.2 Funciones del boro**

### **2.6.2.1 Crecimiento meristemático**

Un aspecto general de la deficiencia en boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemáticos tanto a nivel de las extremidades de las raicillas como de los brotes. En el caso de deficiencia de boro, las dificultades de la división celular y del desarrollo son los primeros síntomas. El alargamiento de las puntas de las raíces de haba (*Vicia faba* L.) es detenido algunas horas después de la transferencia de la planta a una solución privada de boro.

### **2.6.2.2 Movimiento y utilización de los glúcidos**

El boro juega un papel importante en la migración y utilización de los glúcidos. El ácido bórico forma mono y diésteres estables con glúcidos que presentan la configuración cis-diol. Estos complejos azúcar-borato pueden pasar más fácilmente a través de las membranas que si las moléculas polares de azúcares estuviesen solas. La transferencia de azúcares a través de la membrana puede tener lugar por medio de una reacción reversible entre el azúcar y el borato. Cuando la nutrición en boro es adecuada, se encuentran gradientes en favor de la translocación de azúcares hacia los puntos de crecimiento; en cambio, cuando el boro es deficiente, no ocurre la translocación de azúcares.

### **2.6.2.3 Fitohormonas**

Se ha estudiado que los tejidos deficientes en boro presentaban acumulaciones excesivas de auxina. La deficiencia de boro se ve acompañada de una fuerte acumulación de ácido indolacético (AIA) lo que provoca una clara inhibición del crecimiento. La necrosis de los puntos de crecimiento en las puntas terminales que se observan en las deficiencias de boro son causadas por la acumulación de auxina y de fenoles.

Una explicación a esta relación es dada por algunos autores que sostienen que el boro protegería el sistema AIA oxidasa (una enzima que determina el contenido de AIA destruyéndolo por oxidación) formando complejos con los

inhibidores de la AIA oxidasa. La acumulación de AIA estaría por consiguiente provocada por los inhibidores de la AIA oxidasa y la presencia anormal de compuestos fenólicos.

#### **2.6.2.4 Otras funciones**

El boro es también importante en la germinación del grano de polen y crecimiento del tubo polínico. Por otro lado se ha demostrado en tomate que cuando ocurría deficiencia de este elemento disminuía el ARN.

#### **2.7 Toxicidad de boro**

Mengel y Kirkby (1978) mencionan que la toxicidad de boro en los cultivos se presenta cuando el nivel de boro soluble en el suelo excede a los 5 ppm, mientras que niveles menores a 1 ppm generalmente no son óptimos para el crecimiento vegetal.

Stinson (1953), trabajando en alfalfa, encontró que el factor de correlación entre el contenido de boro de la planta y el nivel de boro soluble del suelo fue de 0.848. Khan et al. (1979) señalan que los cereales y el maíz tienen menores requerimientos de boro que la alfalfa.

La concentración de boro en las plantas corrobora generalmente los síntomas observados de toxicidad de este elemento. Gupta (1979) considera que

concentraciones en la planta mayores a 59 ppm en el trébol rojo provocan toxicidad por boro. Fox (1968b) en un estudio sobre la tolerancia del maíz, algodón, alfalfa y frijol en suelos con altas concentraciones de boro, menciona que la concentración alta de boro en las hojas y peciolo de frijol confirmó la evidencia visual de toxicidad en todas las plantas. Sin embargo, la concentración de boro fue más alta en el maíz en relación a los síntomas ligeros de toxicidad que se observaron. Nueve de las muestras tuvieron más de 300 ppm de boro lo que sugiere que los síntomas de toxicidad no fueron muy severos en el maíz o que solamente son visibles a concentraciones más altas de boro. La concentración relativamente baja en las hojas y peciolo de algodón y en la parte aérea de la alfalfa comprueba la ausencia de síntomas de toxicidad de boro observados en estas plantas; solamente en dos plantas la concentración fue mayor a 300 ppm. El algodón que tuvo más de 300 ppm fue la planta que mostró síntomas ligeros de toxicidad. Las plantas de alfalfa que mostraron síntomas ligeros de toxicidad tuvieron entre 200 y 250 ppm de boro.

### **III MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Ubicación**

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se utilizó un suelo de las lomas de Sama (Serie Los Gredales), departamento de Tacna.

#### **3.2 Características de las lomas de Sama**

Las lomas de Sama se encuentran ubicadas entre los Km 1238.5 y 1249 de la Carretera Panamericana Sur, a 5 Km al norte del distrito Las Yaras de Sama, y a 50 Km al norte de la ciudad de Tacna. En el Gráfico 1 se muestra su plano de ubicación.

Políticamente se encuentra en el distrito de Sama, provincia y departamento de Tacna. Comprende un área de 3700 Ha. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas  $17^{\circ} 47'30''$  y  $17^{\circ}50'$  de Latitud Sur y  $70^{\circ}35'$  y  $70^{\circ}41'$  de Longitud Oeste.

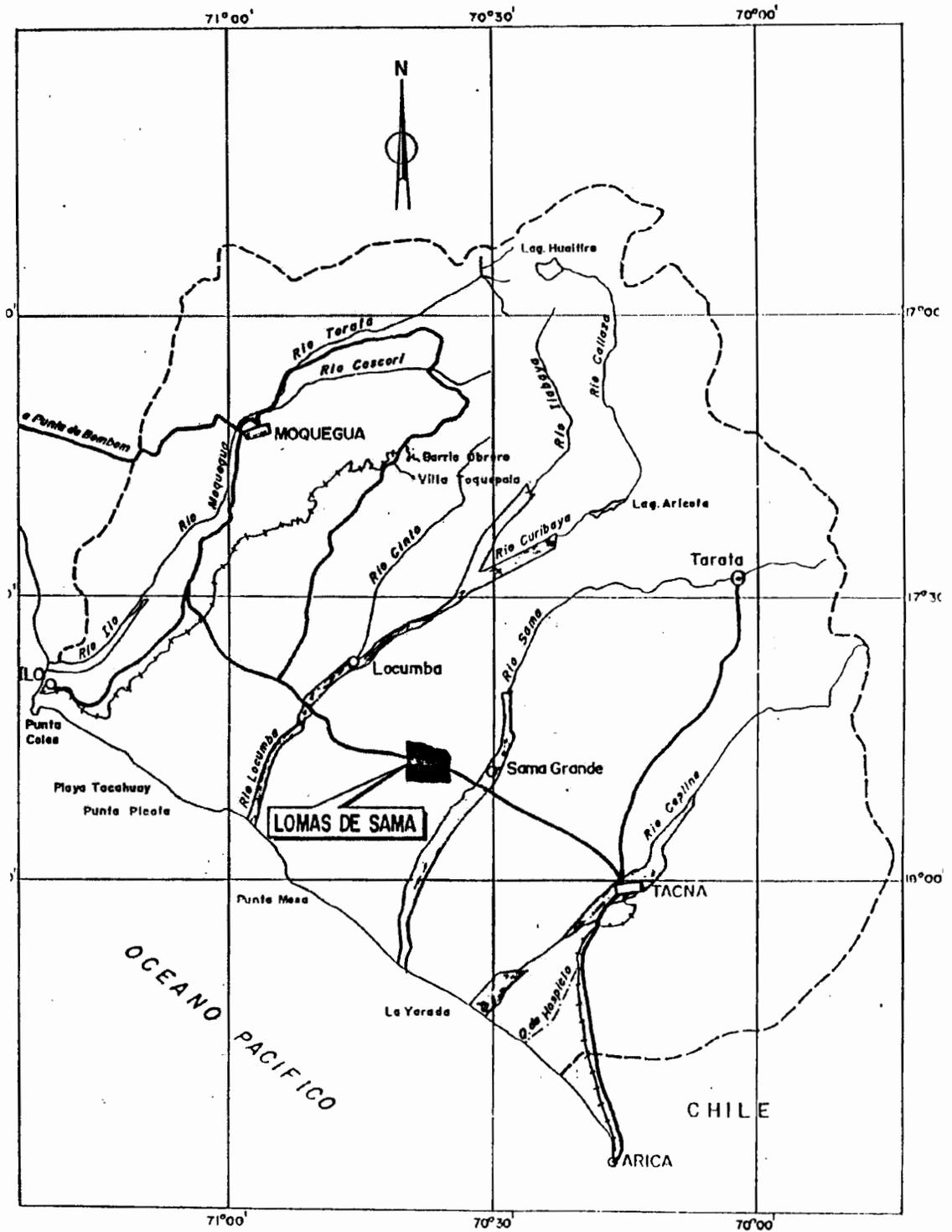


GRAFICO I  
LOMAS DE SAMA  
PLANO DE UBICACION

Su clima es árido, está clasificado como una formación ecológica que se encuentra dentro de la formación vegetal de desierto sub-tropical, área de lomas, cuya altura va desde los 435 m.s.n.m. hasta los 635 m.s.n.m. Su temperatura media diaria es 18,1°C con una máxima de 29,4°C (marzo) y una mínima de 5,8°C (setiembre). Se registra la humedad relativa máxima entre los meses de Mayo a Octubre (en promedio: 80%), y la humedad relativa mínima (76% como media) de noviembre a abril. La precipitación es muy baja, siendo la máxima en junio con 32,7 mm y el total es 49,6 mm. Casi todo el año la dirección predominante del viento es SO, durante el verano es S con valores entre 6 - 14 Km/hr. Son más fuertes entre las 10 y 17 hr, alcanzando valores de 10 m/s (36 Km/h).

### **3.2.1 Características Físicas y Geomorfológicas**

- Suelos criados de origen eólico, modificado por material aluvial gravoso.
- Vegetación herbácea que crece en la temporada de lloviznas y es aprovechada en el pastoreo temporal.
- Son de formación reciente, de una textura gruesa, no calcáreos y contienen moderada gravosidad en su estratificación provenientes de la interacción de las arenas eólicas con los aluviones esporádicos que descienden de las alturas.
- Por encontrarse en la franja afectada por la corriente del viento, constantemente está expuesta a la erosión eólica.
- Las condiciones de drenaje de estos suelos es rápida con una velocidad de filtración de 12 a 25 cm/hr.

- La fisonomía dominante es de topografía ligeramente inclinada con una pendiente entre 2 y 4% sobre un paisaje de llanura.

### **3.2.2 Suelo en estudio**

El suelo en estudio fue de textura arena franca y con altos niveles de boro soluble, mostrándose en el Cuadro 1 los resultados completos de su análisis físico-químico. Se aprecia además que tenía una alta conductividad eléctrica (25,7 dS/m), pH moderadamente alcalino (8,4), niveles bajos de carbonatos (0,60%), materia orgánica (0,29%), y fósforo disponible (3,8 ppm), nivel alto de potasio disponible (1849 kg/ha) y una capacidad de intercambio catiónico de 16,4 cmol(p<sup>+</sup>)/kg, valor considerado alto para un suelo con estas características. El nivel de sodio intercambiable superó el 15%, por lo que este suelo se clasifica como salino-sódico.

La metodología seguida en el análisis de caracterización para determinar la textura fue el método del Hidrómetro, lectura de conductividad eléctrica en el extracto de la pasta saturada, pH en una relación 1:1 suelo:agua, carbonatos por el método gasovolumétrico, materia orgánica por el método de Walkley y Black, fósforo disponible por el método de Olsen modificado, potasio disponible por el método de Peech, determinación de la capacidad de intercambio catiónico en acetato de amonio, cationes cambiables por espectrofotometría de absorción atómica en el extracto amónico, y boro por el método del carmin sulfúrico.

### CUADRO 1

#### **Análisis de Caracterización del suelo en estudio**

Suelo	Textura	C.E. dS/m	pH	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CIC	Cambiables				B ppm
									Ca	Mg	K	Na	
									cmol (p <sup>+</sup> )/Kg				
Lomas	Arena Franca	25,7	8,4	0,60	0,29	3,8	1849	16,4	10,89	1,34	0,89	3,28	61

Se le puede calificar como representativo de la zona, porque los mayores problemas que presentan los suelos de las lomas son la salinidad, sodicidad y una baja fertilidad natural.

Este suelo corresponde a la Serie Los Gredales. En cuanto a su clasificación de acuerdo al Soil Taxonomy, pertenece al Orden Entisol, Suborden Fluvent, Gran Grupo Torrifuvent. Según la clasificación de la FAO, es del Gran Grupo Fluvisol Eutricto seco.

### **3.3 Prueba Biológica**

La planta escogida para este estudio fue la alfalfa (Medicago sativa L.) cv San Pedrito, debido a que es un cultivo extendido en los valles de la zona (Sama y Locumba) y a su tolerancia al boro.

### **3.4 Materiales**

#### **3.4.1 Materiales de Invernadero**

- Semillas de alfalfa (Medicago sativa L.) cv San Pedrito
- Macetas
- Balanza
- Vaso graduado

### **3.4.2 Materiales y Equipo de Laboratorio**

- Bolsas de papel
- Balanza
- Fiolas, probetas, pipetas, tubos, bureta, espátula, papel filtro, embudos de plástico, vasos, frascos, erlenmeyer, crisoles
- Embudos Buchner
- Estufa
- Mufla
- Molino
- Equipo Microkjeldahl
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Espectrofotómetro de absorción atómica

### **3.5 Metodología**

#### **3.5.1 Instalación del experimento**

El suelo colectado de las lomas de Sama fue tamizado en una malla de 2 mm de diámetro, mezclado, colocándose en cada maceta 2 Kg de tierra fina seca al aire (TFSA).

Dada la fuerte salinidad del suelo (Cuadro 1), se procedió a lavado continuo con agua desionizada hasta que alcanzó un tenor bajo (menor a 4 dS/m). Luego de este lavado se midió la concentración de boro soluble, la cual disminuyó de 61 ppm (valor inicial) a 20,9 ppm. Esta situación la encontraron Reeve et al. (1953) cuando lavaron un suelo salino de California.

Cuando se tuvo la TFSA con baja concentración de sales, se aplicaron las enmiendas: materia orgánica y la enmienda cálcica. Se incorporó 0, 1 y 2 % de estiércol de vacuno como fuente de materia orgánica, porcentajes en base a peso. La enmienda cálcica se aplicó en dos proporciones: i) 0 y ii) 1,635 g  $\text{CaCO}_3$ /maceta + 2,8122 g  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /maceta, dejándose en incubación. Cada una de estas cantidades representan 1,635 meq de Ca, ya que el análisis preliminar efectuado usando una solución 0,022 N de hidróxido de calcio arrojó 3,27 meq de Ca a aplicar, 50 % como  $\text{CaCO}_3$  y 50 % como  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

La fertilización se realizó aplicando 150 ppm de fósforo usando como fuente superfosfato de calcio simple 15 días antes de la siembra y 100 ppm de nitrógeno bajo la forma de urea. No se aplicó potasio porque esta variedad de alfalfa responde bien a suelos con altos niveles de este elemento, situación que se presentaba en este suelo.

Luego de haber efectuado los pasos anteriores se tenían las condiciones apropiadas para proceder a la siembra. Se sembraron de 12 a 15 semillas de

alfalfa (Medicago sativa L.) cv San Pedrito, dejando finalmente 10 plantas, cantidad que se consideró suficiente para realizar los posteriores análisis.

### **3.5.2 Conducción del experimento**

El agua que se aplicó en el riego tuvo 4 diferentes concentraciones de boro según los tratamientos (ver Cuadro 2). Esto se realizó puesto que las aguas del río Locumba que se van a derivar para irrigar las lomas contienen boro, exhibiendo variaciones en el nivel de este elemento con la época del año. En todos los casos el nivel de humedad del suelo se llevó a capacidad de campo. Las concentraciones fueron 0, 4, 8 y 12 ppm, las que se obtuvieron a partir de una solución patrón de 1000 ppm de B, preparada con ácido bórico.

Cuando las plantas de alfalfa estaban próximas a la floración se efectuó el primer corte del cultivo, cuidando de dejar brotes para el rebrotamiento. Estas plantas cortadas de alfalfa se pesaron inmediatamente, obteniéndose el peso fresco. Luego se lavaron con agua desionizada y se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa por 24 horas a 70° C para su secado. Posterior a este paso, se pesaron las plantas registrándose como peso de materia seca. El análisis foliar se realizó moliendo las muestras secas y calcinándolas en una mufla eléctrica a 500° C durante 12 horas, extrayéndose los elementos Ca, Mg y B con ácido clorhídrico Q.P., determinándose su concentración con el espectrofotómetro de absorción atómica.

Paralelamente a esta labor se tomaron muestras de suelo y se analizaron calcio, magnesio y boro del suelo, a través de los siguientes métodos: para los dos primeros en el extracto de acetato de amonio 1N y para el boro en el extracto de saturación por medio del método del carmín sulfúrico.

La alfalfa siguió siendo regada oportunamente hasta que se realizó el segundo y último corte, aproximadamente 2 meses después del primero. Las evaluaciones que se hicieron luego de este corte fueron las mismas que para el primero y que se detallaron líneas arriba.

### **3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó el diseño completo al azar en arreglo factorial, siendo los factores:

<b>Enmienda Cálcica</b>	<b>Materia Orgánica (%)</b>	<b>B en agua ( ppm )</b>
-	0	0
F	1	4
	2	8
		12

El número de tratamientos es de 24 con 3 repeticiones cada uno, con un total de 72 unidades experimentales. La distribución de los tratamientos se muestra en el Cuadro 2.

**CUADRO 2****Tratamientos, Factores y Niveles en estudio**

<b><u>Tratamientos</u></b>	<b><u>Factores y niveles en estudio</u></b>		
	<b><u>Enm. Cálcica</u></b>	<b><u>M.O.(%)</u></b>	<b><u>B en agua (ppm)</u></b>
T1	-	0	0
T2	-	0	4
T3	-	0	8
T4	-	0	12
T5	-	1	0
T6	-	1	4
T7	-	1	8
T8	-	1	12
T9	-	2	0
T10	-	2	4
T11	-	2	8
T12	-	2	12
T13	+	0	0
T14	+	0	4
T15	+	0	8
T16	+	0	12
T17	+	1	0
T18	+	1	4
T19	+	1	8
T20	+	1	12
T21	+	2	0
T22	+	2	4
T23	+	2	8
T24	+	2	12

## **IV RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1 Peso de materia seca de alfalfa en el primer corte**

En el Cuadro 3 se presentan los promedios de los rendimientos de materia seca de alfalfa por maceta al primer corte. Se observa, en general, que los tratamientos en los cuales se aplicó materia orgánica tuvieron los mayores rendimientos (Gráfico 2) con respecto a los que no se aplicó para un mismo nivel de boro vía riego, excepto en los tratamientos 1 y 2, lo que dio por resultado la significación del efecto principal materia orgánica y la alta significación de la interacción M.O. x B (Apéndice). La alta significación del efecto principal calcio se debió a que cuando éste se aplicó los rendimientos fueron más altos a sus similares sin la enmienda, salvo en los dos tratamientos ya señalados. Es obvio que al tratarse de una planta leguminosa que requiere calcio para una buena fijación del nitrógeno atmosférico y de las mejores condiciones que se le da al suelo (Alexander 1980), habrá una mejor respuesta por parte de la planta y esto sucedió en los tratamientos con materia orgánica y calcio, como se observó por la alta significación de la interacción Ca x MO. Gupta (1971) encontró que hasta cierta dosis de boro aplicado al suelo, los rendimientos de materia seca de alfalfa aumentaban para luego, por encima de ese nivel, decrecer. En el gráfico se aprecia que tanto la materia orgánica como el calcio actuaron de una manera más eficiente cuanto más boro se añadió, porque en las dosis más bajas (0 y 4 ppm), las plantas respondieron muy bien sin materia orgánica ni calcio. Sin embargo,

**CUADRO 3**  
**PESO PROMEDIO DE MATERIA SECA**  
**PARTE AEREA DE ALFALFA SAN PEDRITO**  
**(En gramos/maceta)**

<b>Tratamiento</b>	<b>1<sup>er</sup> corte</b>	<b>2<sup>o</sup> corte</b>
1	1,127	0,656
2	0,836	0,467
3	0,581	0,342
4	0,533	0,339
5	0,488	0,478
6	0,697	0,449
7	0,783	0,448
8	0,593	0,346
9	0,665	0,582
10	0,580	0,423
11	0,772	0,575
12	0,784	0,567
13	0,827	0,615
14	0,612	0,503
15	0,592	0,475
16	0,646	0,519
17	0,997	0,432
18	0,844	0,350
19	1,144	0,554
20	0,991	0,511
21	1,041	0,706
22	0,880	0,569
23	0,961	0,514
24	0,957	0,587

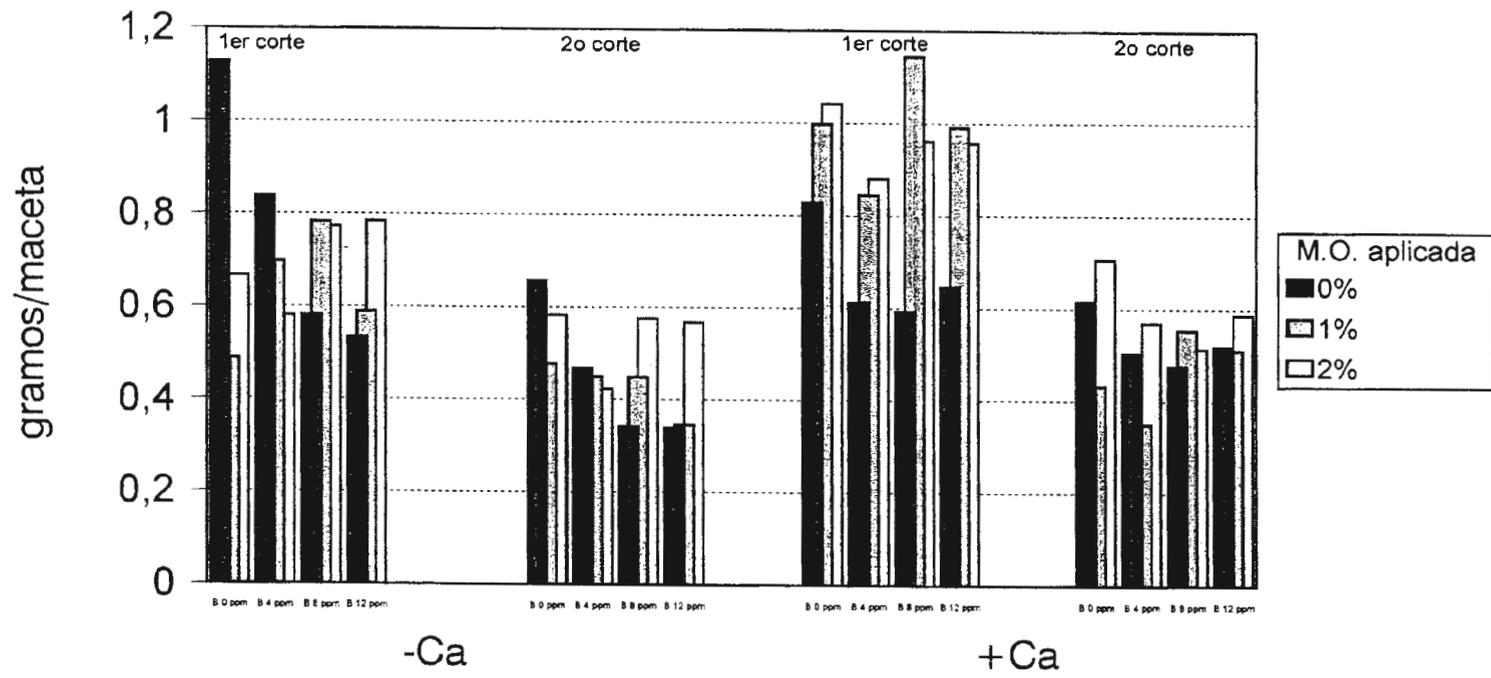


Gráfico 2. Peso promedio de Materia Seca (g/maceta), parte aérea de alfalfa San Pedrito

cuando aumentó la dosis de boro en esos tratamientos (sin materia orgánica ni calcio), los rendimientos disminuyeron drásticamente y significativamente, en cambio con 1 y 2% de materia orgánica las variaciones en el rendimiento fueron no significativas.

En los tratamientos con enmienda cálcica, como se mencionó, los mayores rendimientos se obtuvieron cuando se aplicó materia orgánica. Sin embargo no se observó diferencias entre las dosis de boro aplicados para cada nivel de materia orgánica.

Haciendo una comparación con las concentraciones foliares de boro y calcio (Gráficos 7 y 9 respectivamente) se aprecia que los rendimientos tuvieron más relación con los niveles de boro que con el calcio, sobre todo en los tratamientos con enmienda: a más boro en las hojas menos rendimientos y a menos boro mayores rendimientos, tal como lo señala Noya (1974) para maíz. Para los tratamientos sin enmienda, los altos niveles de boro foliar en ciertos tratamientos, como por ejemplo los de 1% de materia orgánica, fueron compensados por altos niveles de calcio foliar, de ahí que los rendimientos no fueran muy afectados. Sin embargo, como se explicó párrafos arriba, la materia orgánica también estuvo influyendo sobre este parámetro.

En el Apéndice se presenta el análisis de variancia de este parámetro. El coeficiente de variabilidad fue de 16,87%.

#### **4.2 Peso de materia seca de alfalfa en el segundo corte**

Los resultados se muestran en el Cuadro 3. Al igual que para el primer corte, los mayores rendimientos se registraron en los tratamientos con materia orgánica (Gráfico 2), aunque en este caso con 2% fue más notorio debido a que transcurrió más tiempo y hubo una mayor descomposición, liberación de nutrientes y mejoramiento de propiedades, por lo que este efecto principal fue altamente significativo. Hay que remarcar, sin embargo, que los rendimientos fueron menores a los obtenidos en el primer corte. Gupta y MacLeod (1977) encontraron una situación diferente en todos los tratamientos que tuvieron con diversas fuentes de calcio y con aplicación de 1 ug B/g suelo y sin ella, pero sin materia orgánica. Los dos tratamientos sin materia orgánica que superaron a aquellos en que sí se aplicó materia orgánica para un mismo nivel de boro adicionado (tratamientos 1 y 2), también lo hicieron en este corte, sólo que las diferencias se acortaron y en el caso de la dosis de 4 ppm (tratamiento 2), fueron muy pequeñas. También cuando se aplicó calcio los rendimientos fueron mayores que cuando no se hizo excepto en los tratamientos 13,14 y 18 aunque en los dos primeros la diferencia fue muy poco notoria pero en el 18 sí fue importante debido probablemente a un exceso de calcio en el suelo (Gráfico 4). El efecto calcio también resultó altamente significativo.

El nivel de materia orgánica fue muy trascendental, por ejemplo con 2% y calcio los rendimientos no fueron afectados a pesar de las altas concentraciones del boro foliar (ver Cuadro 7), en cambio con 1% de materia orgánica, sin la enmienda y alto nivel de boro foliar, los rendimientos fueron bajos. Se sostiene,

por tanto, lo mismo que para el primer corte, aunque con énfasis en el nivel mayor de materia orgánica, es decir que éste y el calcio juegan un rol importante en los rendimientos de la alfalfa en estos suelos con altos niveles de boro en el suelo y en el tejido vegetal, lo que explica la alta significación de la interacción Ca x M.O.

Comparando los rendimientos del primer y segundo cortes, es claro apreciar que hubo disminución en todos los tratamientos, situándose las  $\frac{3}{4}$  partes de ellos en el rango de disminución de 20 a 46%, llegando en el peor caso a 57% (tratamiento 17). La explicación reside en las altas concentraciones de boro foliar que exceden lo aceptable para la alfalfa y el nivel de calcio en el suelo que ocasionó un desbalance nutricional y antagonismo con los otros elementos. Además, se observa en los rendimientos de ambos cortes que no hay una tendencia en relación a la dosis de boro aplicado para cada nivel de materia orgánica, salvo en los tratamientos sin aplicación de calcio y 0% de materia orgánica en los cuales el peso de materia seca disminuye con el aumento del boro adicionado con el riego, responsable de la alta significación del boro. Esta falta de relación también la encontraron Dionne y Pesant (1978) y Mc Ilrath y DeBruyn (1955).

Como se resume en el análisis de variancia, los 3 efectos principales (calcio, materia orgánica y boro) y las interacciones Ca x B, M.O. x B y Ca x M.O. x B fueron altamente significativos (ver Apéndice ). El coeficiente de variabilidad fue de 8,81%.

#### **4.3 Concentración de boro en el suelo luego del primer corte**

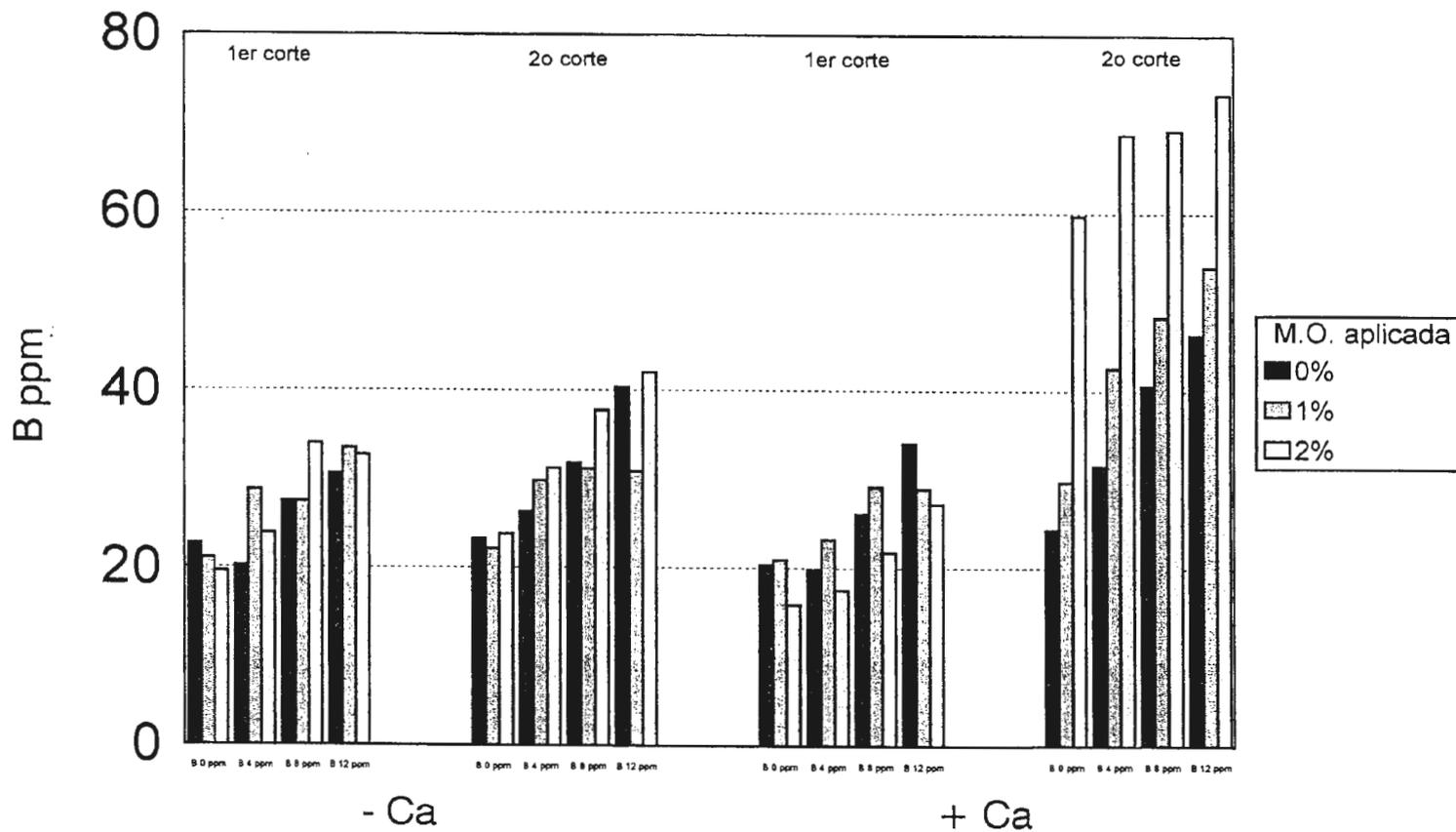
En la mayoría de tratamientos se incrementó el nivel de boro soluble con respecto a su valor inicial en el suelo (20,9 ppm), lo que se aprecia en el Cuadro 4. Aquellos en que la concentración de boro fue menor a 20,9 ppm fueron regados con las dosis más bajas de B, 0 y 4 ppm. El efecto principal boro vía riego resultó altamente significativo. Los tratamientos con esos dos niveles de boro en el agua más 2% de materia orgánica y calcio aplicados (tratamientos 21 y 22) fueron los que tuvieron las menores concentraciones de boro del experimento, 15,8 y 17,5 ppm, respectivamente.

Sobre el efecto del calcio, se observa que en los tratamientos en que se aplicó se tuvieron ligeros incrementos en la concentración de boro e incluso en algunos de ellos esos niveles fueron menores (tratamientos 13, 14, 21 y 22) comparados con los tratamientos en que no se aplicó la enmienda cálcica en los cuales los incrementos fueron mayores, similar a lo que encontraron Gupta y MacLeod (1981). Este efecto principal también fue altamente significativo.

Los tratamientos 1,5 y 9 permiten explicar el efecto de la materia orgánica cuando no se aplicó calcio ni boro. A más materia orgánica menos boro, tal como lo encontraron Bishop y Cook (1958), aunque estas diferencias fueron no significativas. El tratamiento 9 (2% de MO) tuvo una concentración de 19,5 ppm, valor menor al inicial.

**CUADRO 4**  
**CONCENTRACION DE BORO EN EL SUELO**  
(ppm)

<b>Tratamiento</b>	<b>1<sup>er</sup> corte</b>	<b>2<sup>o</sup> corte</b>
1	22,60	23,10
2	20,20	26,33
3	27,40	31,73
4	30,50	40,30
5	21,03	22,07
6	28,70	29,77
7	27,40	31,13
8	33,43	30,83
9	19,50	23,77
10	23,80	31,17
11	33,93	37,70
12	32,63	41,97
13	20,33	24,33
14	19,80	31,47
15	26,03	40,57
16	34,03	46,27
17	20,90	29,73
18	23,24	42,57
19	29,13	48,30
20	28,90	53,97
21	15,80	59,70
22	17,47	68,83
23	21,73	69,30
24	27,17	73,37



- Ca + Ca  
 Gráfico 3. Concentración de boro en el suelo

En vista que los menores valores de boro en el suelo se obtuvieron cuando se aplicó la enmienda, sólo se analizará esos tratamientos en detalle. Así, se puede apreciar también en el Gráfico 3 que, para cada nivel de materia orgánica, la tendencia de la concentración de boro en el suelo es que ésta se incrementa con el aumento de la dosis de boro aplicado en el riego, siendo esta interacción M.O. x B altamente significativa, lo cual también fue hallado por Peterson y Newman (1976) en algunos de sus tratamientos. Explicando lo que se observa en la mayoría de los tratamientos, significa que cuanto más se aplicó de boro su concentración en el suelo aumentó, lo que es corroborado estadísticamente y lo señalan otros autores (Dionne y Pesant 1978 y Gupta y MacLeod 1981). Puede señalarse aquí que ni el calcio ni la materia orgánica fueron capaces de contrarrestar este efecto.

Cuando no se aplicó materia orgánica, la concentración de boro en el suelo fue similar estadísticamente con 0 y 4 ppm en el agua de riego (19,8 y 20,33 ppm) incrementándose con 8 (26,0 ppm) y 12 ppm (34,0 ppm), siendo diferentes entre sí y de los promedios más bajos.

Con 1% de materia orgánica el comportamiento fue similar al anterior con 0 y 4 ppm de boro en el riego (20,9 y 23,2 ppm), no siendo la concentración de boro en el suelo con 12 ppm aplicado (28,9 ppm) estadísticamente diferente a 8 ppm (29,1 ppm) pero sí ambas a las más bajas.

Con 2% de materia orgánica, la más baja concentración se tuvo con 0 ppm de boro (15,8 ppm), incrementándose gradualmente con la dosis de boro aplicado

hasta 12 ppm en que se tuvo 27,2 ppm en el suelo. Estos 4 niveles de boro en el suelo fueron los menores para cada una de las dosis de boro adicionado, lo que se explica como el mayor efecto de adsorción que tuvo la materia orgánica al 2% combinado con el efecto ocasionado por el calcio. Se debe señalar que al nivel de 12 ppm de boro aplicado, las concentraciones de este elemento en el suelo para los niveles 1 y 2% de materia orgánica fueron estadísticamente similares (28,9 y 27,2 ppm, respectivamente).

El análisis de variancia (Apéndice) indica que los 3 efectos principales calcio, materia orgánica y boro y las interacciones Ca x M.O., M.O. x B y Ca x M.O. x B fueron altamente significativos. El coeficiente de variabilidad fue de 9,76%.

#### **4.4 Concentración de boro en el suelo luego del segundo corte**

Los resultados se presentan en el Cuadro 4. En este caso las concentraciones de boro fueron muy distintas con respecto a lo sucedido luego del primer corte. Se observa que las menores concentraciones de boro en el suelo se dieron cuando no se encaló. El efecto calcio fue altamente significativo.

Los niveles de boro en el suelo en los tratamientos sin calcio se incrementaron entre 3 y 32% en relación a sus similares del primer corte, siendo el mayor valor de 42 ppm en el tratamiento 12. En los tratamientos con calcio los incrementos fueron mayores: con 0% de materia orgánica (tratamientos 13 al 16) estuvieron entre 20 y 59%; con 1% de materia orgánica (tratamientos 17 al 20)

entre 42 y 87% y con 2% de materia orgánica (tratamientos 21 al 24) entre 170 y 294%, teniendo estos últimos tratamientos los valores más altos los cuales fluctuaban entre 59,7 y 73,4 ppm. Es indudable que existe un efecto de la materia orgánica (estiércol) con el calcio, la única interacción doble que resultó altamente significativa (Apéndice). Lo que sucede es que niveles más altos de calcio del suelo (se volvió a aplicar luego del primer corte) y el mayor tiempo transcurrido desde la aplicación de la materia orgánica, propiciaron una mayor descomposición de éste liberando al boro, aparte de la adición del elemento vía riego. Cuando no se aplicó materia orgánica, los incrementos fueron los más bajos, lo que prueba la existencia de la alta significación de la interacción Ca x M.O. en el aumento del boro soluble. Son muy importantes estos resultados porque si bien la literatura nos dice que tanto el calcio como la materia orgánica tienen un efecto depresivo en la concentración de boro soluble (Bishop y Cook 1958) y que incluso esto ocurrió luego del primer corte en este experimento, su efecto combinado con el tiempo fue perjudicial para este suelo y como se verá más adelante en la concentración de boro foliar.

Para los tratamientos sin enmienda cálcica, la liberación del boro retenido por la materia orgánica se aprecia en el nivel de 2% (tratamientos 9 al 12), donde para todos los tratamientos se obtuvieron las más altas concentraciones siendo estadísticamente diferentes a aquellos con 0 y 1% de materia orgánica que fueron iguales, lo que se observa en el Gráfico 3, ya que su descomposición fue mucho más baja debido al menor nivel de calcio del suelo (Gráfico 4) porque este elemento propicia una más rápida mineralización de los materiales orgánicos (Gros, 1986).

Para cada nivel de materia orgánica, tanto en los tratamientos con enmienda como sin ella, la concentración de boro en el suelo aumentó con el incremento de la dosis de boro en el riego, tal como sucedió luego del primer corte.

Los tratamientos en que no se aplicó boro en el agua de riego ni calcio (1,5 y 9) fueron los que tuvieron los menores niveles de boro en el suelo, los cuales fueron 23,2, 22,1 y 23,8 ppm respectivamente. Estos valores aumentaron ligeramente con respecto al primer corte y al valor inicial de boro en el suelo (20,9 ppm), lo que indica la importancia que tiene en el incremento en la concentración de boro en el suelo este elemento adicionado con las aguas, efecto que fue altamente significativo.

Los 3 efectos principales calcio, materia orgánica y boro y las interacciones Ca x M.O. y Ca x MO. x B fueron altamente significativos según el análisis de variancia (Apéndice). El coeficiente de variabilidad fue de 8,03%.

#### **4.5 Concentración de calcio en el suelo luego del primer corte**

En el Cuadro 5 se muestran los resultados. Al analizar los tratamientos con los mismos niveles de materia orgánica y boro adicionados siendo la diferencia si se aplicó o no la enmienda cálcica, se aprecia que en la mayoría de los tratamientos los más altos valores de calcio en el suelo se obtuvieron cuando

se aplicó éste y en los tratamientos con aplicación de la enmienda cálcica que tuvieron concentraciones menores de calcio, las diferencias fueron poco notorias, lo que justifica la alta significación de este efecto principal.

En el Gráfico 4 se observa en los tratamientos sin enmienda cálcica que los niveles de calcio fueron similares para el nivel 0% de materia orgánica así como para el nivel de 1%, para las 4 dosis de boro aplicadas, en cambio para 2% de materia orgánica la concentración disminuyó cuanto más boro se aplicó hasta el nivel de 8 ppm para luego aumentar cuando se adicionó 12 ppm, de ahí que la interacción Ca x M.O. haya resultado altamente significativa. En los tratamientos con calcio aplicado no se observa una tendencia definida, mientras que para los niveles 0 y 2% de materia orgánica los menores valores se obtuvieron cuando se adicionó 12 ppm de boro, para 1% de materia orgánica lo fue para 0 ppm y los mayores valores para cada nivel variaron según la dosis de boro en el agua, para 0% fue con 4 ppm, para 1% de materia orgánica con 8 ppm y para 2% de materia orgánica con 0 ppm. Esto explica el hecho que la interacción Ca x B fuera significativa.

Si se comparan con los niveles de boro soluble en los tratamientos con enmienda, se apreciará que la mayor concentración de calcio en el suelo produjo el menor nivel de boro para los niveles 0 y 2% de materia orgánica, lo que no sucedió con 1%. Cuando se tuvo la menor concentración de calcio, los niveles de boro fueron los más altos para 0 y 2% de materia orgánica pero no para 1%, lo que explica el efecto de disminución que tiene el calcio y por extensión el pH en el tenor de boro soluble, situación encontrada por Gupta y MacLeod (1981) y

**CUADRO 5**  
**CONCENTRACION DE CALCIO EN EL SUELO**  
**(ppm)**

Tratamiento	1 <sup>er</sup> corte	2 <sup>o</sup> corte
1	1925,3	2798,3
2	2119,3	3021,0
3	2129,3	3162,3
4	2141,0	3089,0
5	2650,7	3185,7
6	2638,3	2999,3
7	2654,7	3341,0
8	2712,3	3350,3
9	2520,3	3460,0
10	2445,0	3458,7
11	2060,3	3515,3
12	2765,7	3730,0
13	2711,3	4136,0
14	3020,0	4207,3
15	2485,3	4382,3
16	2142,0	4031,0
17	2538,3	3901,3
18	2619,0	4629,0
19	2732,7	3310,0
20	2686,7	3383,7
21	2868,0	3266,0
22	2556,0	3200,0
23	2755,3	3540,7
24	2426,0	3585,3



Muhr (1940). En los tratamientos sin enmienda no se observa relación entre calcio y boro.

En el análisis de variancia (Apéndice) se aprecia que los efectos principales Ca y M.O. y la interacción Ca x M.O. fueron altamente significativos y la interacción Ca x B significativa. El coeficiente de variabilidad fue de 10,53%.

#### **4.6 Concentración de calcio en el suelo luego del segundo corte**

Los resultados se presentan en el Cuadro 5. Las tendencias de los tratamientos se aprecian en el Gráfico 4. En aquellos en que no se aplicó la enmienda cálcica, a diferencia del primer corte, se observa que cuando aumentó el nivel de materia orgánica se incrementó la concentración de calcio para cada una de las dosis de boro adicionadas, siendo significativas las dosis de 0, 4 y 12 ppm pero no la de 8 ppm. Esto explica que las interacciones Ca x M.O., Ca x B y M.O. x B y la interacción triple hayan resultado altamente significativas. Lo que sí se parece a lo visto en el primer corte, es que para cada nivel individual de materia orgánica, las concentraciones de calcio variaron ligeramente pero no en forma significativa conforme aumentó la dosis de boro en el riego. En los tratamientos con calcio, al igual que para el primer corte, no se observa una tendencia definida. En este caso los menores valores variaron para cada nivel de materia orgánica, así para 0% fue con 12 ppm (3901,3 ppm), para 1% fue con 8 ppm (3310 ppm) y para 2% con 4 ppm (3200 ppm).

Si se comparan los niveles de calcio y los de boro soluble (Cuadros 5 y 4 respectivamente), se aprecia que para los tratamientos sin enmienda cálcica hay una relación positiva entre ambos, es decir a más calcio más boro, excepto para el tratamiento 8 (1% de materia orgánica + 12 ppm de boro en el riego), aunque las concentraciones de boro aumentaron en mayor proporción que las de calcio. En cambio para los tratamientos con enmienda la relación fue inversa. Se observa en los tratamientos sin materia orgánica que fueron los que registraron los mayores valores de calcio que los niveles de boro soluble fueron los más bajos (Gráfico 3) y en los tratamientos con materia orgánica que tuvieron menores concentraciones de calcio que el nivel 0% los niveles de boro soluble fueron mayores. De esta manera puede explicarse también esas altas concentraciones de boro por el hecho de un menor nivel de calcio que reaccionaría con poco boro y a una menor variación en el pH, como lo reseñan Porta et al. (1994).

Analizando los niveles de calcio luego del primer y segundo corte, se observa claramente que hay un aumento en las concentraciones en todos los tratamientos luego del segundo corte, debido a tres factores: la descomposición de la materia orgánica que liberó calcio, la aplicación de calcio luego del primer corte en los tratamientos con la enmienda y al aumento del nivel de boro soluble, lo que indica que el boro que habría estado reaccionando con el calcio luego del primer corte se liberó de él, produciendo un incremento del calcio al poner en solución este calcio que estaba retenido. El efecto principal calcio fue el único que resultó fue altamente significativo.

En el Apéndice se muestra el análisis de variancia realizado, en el cual la interacción triple y las dobles fueron altamente significativas así como el efecto principal calcio. El coeficiente de variabilidad fue de 7,0%.

#### **4.7 Concentración de magnesio en el suelo luego del primer corte**

El Cuadro 6 muestra las concentraciones de magnesio en el suelo luego del primer corte. En el Gráfico 5 se comprueba lo que señala el análisis de variancia. Tanto para los tratamientos con enmienda cálcica como aquellos sin ella, se aprecia que para cada nivel de materia orgánica, las diferencias en la concentración del magnesio en el suelo fueron pequeñas en relación a la dosis de boro aplicada. Sin embargo, para cada dosis de boro adicionado, los niveles de magnesio en el suelo fueron mayores cuando se aplicó materia orgánica, debido al aporte de este elemento que hizo el estiércol. La mayor concentración se registró en el tratamiento 10 y fue de 310,7 ppm y la menor en el tratamiento 16 con 204,7 ppm.

Cuando se aplicó la enmienda cálcica, el magnesio disminuyó su concentración en los tratamientos con materia orgánica ya que había mayores niveles niveles de calcio, produciéndose un efecto antagónico. Con respecto a su relación con el boro soluble, encontramos cierta similitud a lo ocurrido entre el calcio y boro en los tratamientos en que no se aplicó boro en el agua así como en aquellos en que se regó con boro y se aplicó 2% de materia orgánica (tratamientos 10, 22, 23 y 24), en los cuales a más magnesio menos boro, y en los tratamientos 11 y 16 en que se tuvo poco magnesio pero alto boro y en otros casos hubo una

**CUADRO 6**  
**CONCENTRACION DE MAGNESIO EN EL SUELO**  
**(ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>1<sup>er</sup> corte</b>	<b>2<sup>o</sup> corte</b>
1	207,7	242,7
2	239,0	278,7
3	213,3	268,3
4	206,3	280,0
5	259,3	263,7
6	281,7	278,7
7	296,0	310,0
8	268,3	309,3
9	276,7	317,0
10	310,7	323,3
11	253,0	322,3
12	269,3	317,3
13	210,7	291,7
14	221,3	313,0
15	205,7	303,0
16	204,7	291,7
17	238,0	319,3
18	241,7	329,0
19	227,0	229,0
20	231,3	239,3
21	263,3	250,7
22	238,7	268,3
23	265,3	272,3
24	234,3	260,7

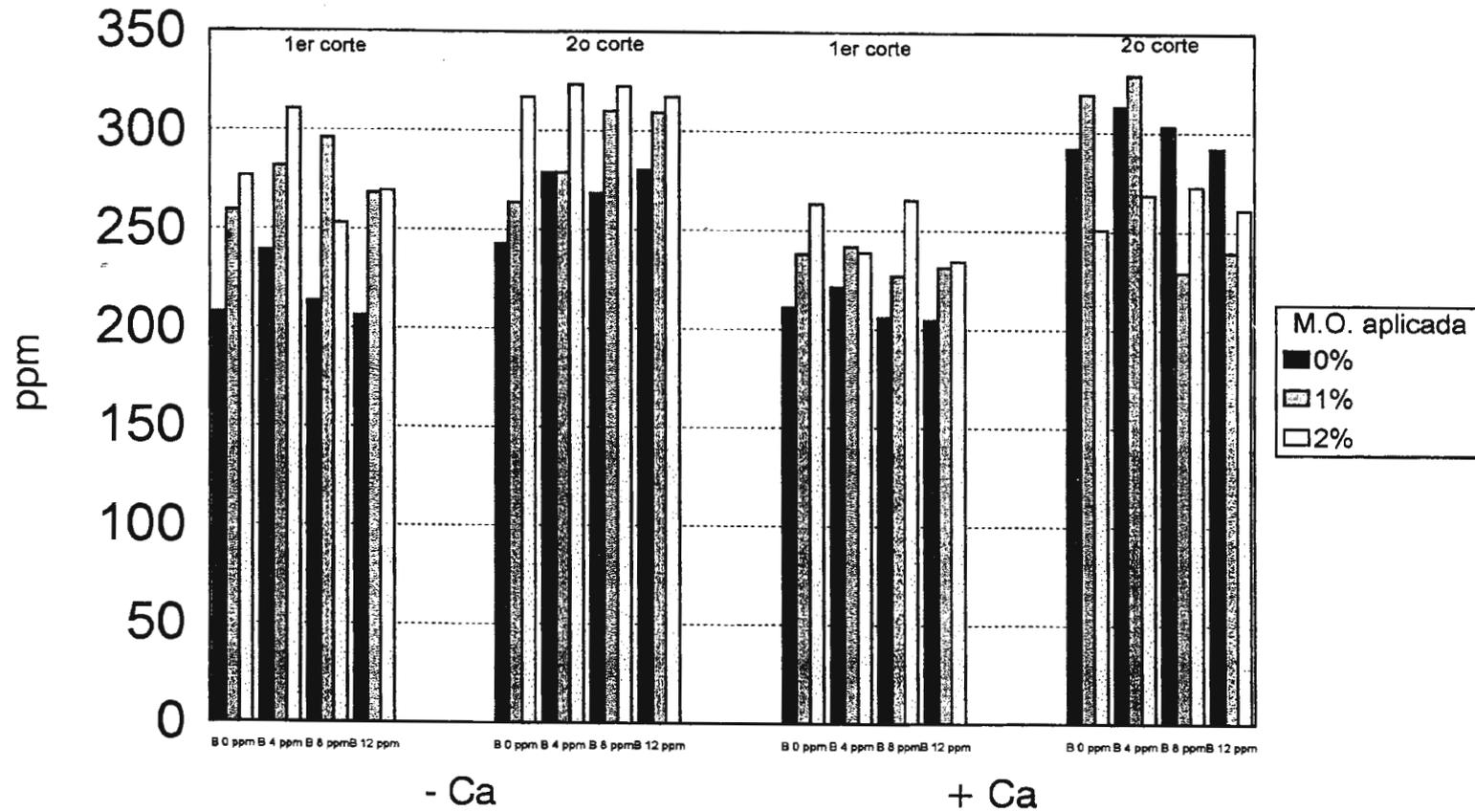


Gráfico 5. Concentración de magnesio en el suelo

relación directa como se aprecia en los tratamientos 8, 12 y 18, donde a más magnesio más boro.

En el Apéndice se observa el análisis de variancia en el cual sólo los efectos principales Ca y M.O. resultaron altamente significativos. El coeficiente de variabilidad fue de 12,47%.

#### **4.8 Concentración de magnesio en el suelo luego del segundo corte**

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de este parámetro. El Gráfico 5 permite apreciar lo siguiente: en los tratamientos sin aplicación de calcio, las diferencias entre las concentraciones de magnesio para el nivel 0% de materia orgánica fueron significativas y para el nivel 1% altamente significativas pero no significativas para el nivel de 2%, encontrándose en este último las mayores concentraciones, lo que explica la alta significación de la interacción Ca x M.O. Se notó un ligero pero significativo incremento para los niveles 0 y 1% de materia orgánica a medida que aumentaba la dosis de boro en el agua pero al nivel 2% fue no significativo. En los tratamientos con enmienda, sólo el nivel 1% de materia orgánica resultó altamente significativo pero las más altas concentraciones no se obtuvieron con más materia orgánica (2%), incluso en dos tratamientos (boro en agua 8 y 12 ppm) lo fueron con 0% de materia orgánica y las menores de todo el trabajo (229 y 239,3 ppm) se dieron en los tratamientos 19 y 20 (1% de materia orgánica + 12 y 8 ppm de boro aplicados en el riego respectivamente), razón por la cual la interacción M.O. x B fue significativa. Para cada nivel de boro adicionado, los menores niveles de magnesio se presentaron cuando se aplicó 2%

de materia orgánica, situación similar a la que se presentó con los valores de calcio en el suelo (ver Gráfico 4).

Comparando los niveles de magnesio y boro soluble, ocurrió una cuestión parecida a lo sucedido entre calcio y boro: en los tratamientos sin enmienda cálcica hubo una relación positiva, a más magnesio más boro, excepto para el tratamiento 8 (1% de materia orgánica + 12 ppm de boro en el riego) y en los tratamientos con enmienda fue al contrario, a menos magnesio más boro y a más magnesio menos boro, debido al efecto del pH. Esto explica en gran parte la alta significación de la interacción triple.

Las concentraciones de magnesio se incrementaron en este corte frente al primero pero en menor proporción que el calcio, excepto en los tratamientos 6 y 21 pero esta disminución fue mínima (1 y 5% respectivamente). Coincidentemente los mayores incrementos se dieron en los tratamientos con aplicación de la enmienda cálcica y sin materia orgánica los cuales tuvieron los mayores niveles de calcio en el suelo.

En el Apéndice se muestra el análisis de variancia en el cual el efecto principal calcio y las interacciones Ca x M.O., Ca x B y Ca x M.O. x B fueron altamente significativos y el efecto principal boro y la interacción M.O. x B significativos. El coeficiente de variabilidad fue de 5,84%.

#### **4.9 Concentración de boro foliar luego del primer corte**

Las más bajas concentraciones de boro en la planta (218 y 232,7 ppm) se obtuvieron en los tratamientos 17 y 21 cuando se aplicaron calcio y materia orgánica pero no boro, según se aprecia en el Cuadro 7. A pesar que éstos fueron los menores valores, se consideran concentraciones altas y tóxicas para las plantas. En los tratamientos sin calcio aplicado, las menores concentraciones se registraron con 2% de materia orgánica y las dosis de 0,4 y 12 ppm de boro en el riego (242, 263 y 276,7 ppm respectivamente). El efecto principal calcio resultó significativo.

En los tratamientos con enmienda se observa que para cada nivel de materia orgánica la concentración de boro foliar aumentó conforme se incrementó la dosis de boro aplicado siendo estas diferencias significativas, así también lo encontraron Mc Ilrath y DeBruyn (1955), Peterson y Newman (1976), Dionne y Pesant (1978) y Wear y Peterson (1962) en suelos de diferente textura y pH, igual que para el boro soluble en el suelo pero altos valores de boro en el suelo no implica necesariamente altas concentraciones en la planta, apreciándose esto en los tratamientos 18 y 19 (1% de materia orgánica y 4 y 8 ppm de boro en el riego), ya que existía un alto nivel de calcio en el suelo (Gráfico 4) que produjo un bloqueo en la absorción de boro, lo que expresan también Fox (1968b), Gupta y MacLeod (1981) y Mc Ilrath y DeBruyn (1955).

Para los tratamientos sin enmienda, sólo en el nivel de materia orgánica 1% (Gráfico 6) se observa claramente la mayor concentración de boro en el tejido

**CUADRO 7**  
**CONCENTRACION DE BORO FOLIAR**  
**(ppm)**

Tratamiento	1 <sup>er</sup> corte	2 <sup>o</sup> corte
1	290,7	716,0
2	322,3	801,3
3	303,3	872,7
4	402,0	980,7
5	346,0	765,3
6	380,7	751,7
7	436,3	991,0
8	499,0	1134,7
9	242,0	605,7
10	263,0	697,0
11	492,0	969,7
12	276,7	1011,0
13	263,0	543,0
14	308,3	542,3
15	359,7	802,7
16	401,3	867,3
17	218,0	581,7
18	236,3	658,7
19	329,7	875,0
20	354,0	1012,3
21	232,7	803,3
22	260,3	878,7
23	326,3	899,7
24	343,3	1040,7

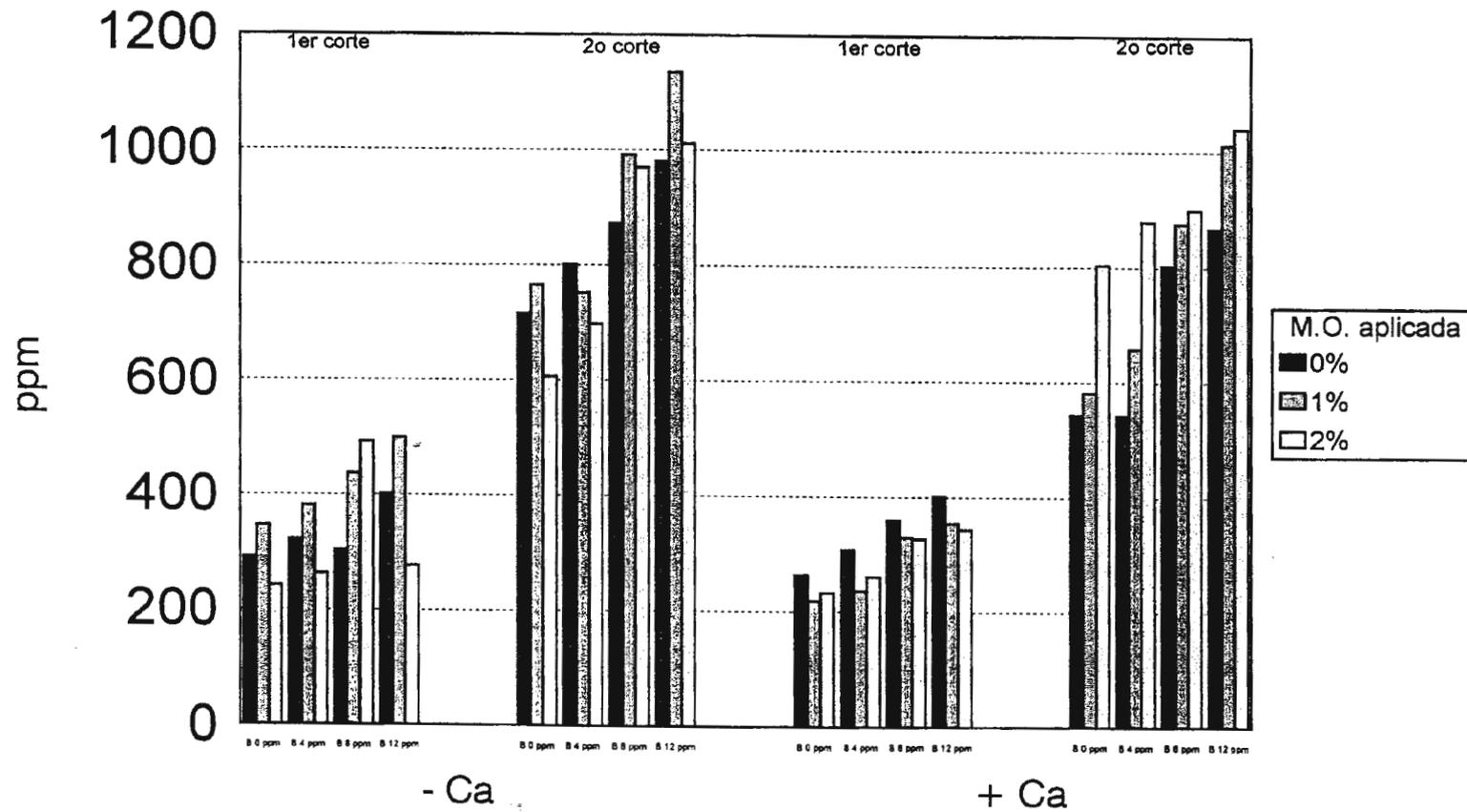


Gráfico 6. Concentración de boro foliar

a medida que se agregó más boro, lo que fue altamente significativo; en el nivel 0 de materia orgánica, la tendencia fue ligera entre 0 y 8 ppm pero a 12 ppm se obtuvo la mayor concentración, sin embargo fue no significativa, y en el nivel 2% con la dosis 8 ppm se tuvo la más alta concentración (altamente significativa) siendo la interacción M.O. x B altamente significativa. Si se compara con el boro soluble (Gráfico 3) se aprecia que precisamente las dos más altas concentraciones de boro foliar correspondieron a los dos más altos niveles de boro en el suelo, tratamientos 8 y 11 ( 1% de materia orgánica + 12 ppm de boro y 2% de materia orgánica + 8 ppm de boro respectivamente), así como también la más baja concentración en las hojas correspondió a la menor en el suelo, lo que sucedió en el tratamiento 9 (2% de materia orgánica + 0 ppm de boro). La segunda concentración más alta se obtuvo con la menor concentración de calcio en el suelo, por lo que no hubo impedimento para la absorción de boro.

La significación de la interacción Ca x M.O. (Apéndice) se debió a los tratamientos sin enmienda cálcica ya que cuando se aplicó ésta fue no significativa. En los primeros el único que resultó no significativo fue cuando no se adicionó boro en el riego.

El análisis de variancia (Apéndice) señala que los efectos principales calcio y boro y la interacción Ca x M.O. fueron significativas y el efecto principal M.O. y las interacciones M.O. x B y Ca x M.O. x B fueron altamente significativas. El coeficiente de variabilidad fue de 16,47%.

#### **4.10 Concentración de boro foliar luego del segundo corte**

Las concentraciones de boro foliar luego del segundo corte de la alfalfa se muestran en el Cuadro 7. Los tratamientos con la enmienda cálcica para los niveles 0 y 1% de materia orgánica tuvieron menores concentraciones de boro que sus similares sin enmienda (efecto calcio significativo) pero con el nivel 2% de materia orgánica esto sucedió sólo con la dosis 8 ppm de boro añadido (Gráfico 6). Esto explica la alta significación de la interacción Ca x M.O.

Para todos los casos, con enmienda cálcica y sin ella, y para cada nivel de materia orgánica, la concentración de boro foliar aumentó con el incremento de la dosis de boro adicionado con el riego, lo que justifica la alta significación del efecto boro. Esta tendencia fue similar a lo ocurrido en el suelo.

Las concentraciones en este corte aumentaron con respecto al primero, en un rango que fluctuó entre 76 y 265%, siendo mayores estos incrementos en los tratamientos con aplicación de calcio, efecto que fue significativo. En el trabajo de Gupta y MacLeod (1977) se encontró que en el segundo corte la concentración foliar de boro disminuía. La más alta concentración fue 1134,7 ppm en el tratamiento 8 (sin calcio, 1% de materia orgánica y 12 ppm de boro en el agua) y la más baja fue 542,3 ppm en el tratamiento 14 (con calcio, 0% de materia orgánica y dosis de 4 ppm). Esta última concentración fue mayor a la más alta obtenida en el primer corte, que fue de 499 ppm.

El nivel de boro foliar en este corte no se relaciona con el nivel de boro soluble en el suelo, ya que los tratamientos con los niveles más altos de boro en el suelo (con calcio y 2% de materia orgánica) no fueron los que tuvieron las más altas concentraciones en el tejido en el experimento, aunque sí tuvieron los valores más altos entre los tratamientos con enmienda, así como los tratamientos con las menores concentraciones de boro en el suelo (1 y 5) no fueron los que registraron las menores concentraciones foliares. Sólo los tratamientos 9 y 13 mostraron una cierta relación entre ambas formas de boro. Esta falta de relación entre ambos es importante porque nos indica que no necesariamente los mayores niveles de boro en el suelo van a redundar en las mayores concentraciones de boro foliar y viceversa, sino que van a ser regidos por otros factores, como son el calcio en el suelo y foliar y el pH (bororady, 1990; Mc Ilrath y DeBruyn 1955).

El análisis de variancia (Apéndice) muestra que el efecto principal boro y la interacción Ca x M.O. resultaron altamente significativos y los efectos principales calcio y materia orgánica significativos. El coeficiente de variabilidad fue de 15,04%.

#### **4.11 Concentración de calcio foliar luego del primer corte**

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de las concentraciones de calcio foliar luego del primer corte. Las más bajas concentraciones se obtuvieron en los tratamientos sin enmienda cálcica y con 0% de materia orgánica (tratamientos 1, 2, 3 y 4) y las más altas con enmienda y también con 0% de

materia orgánica en los tratamientos 13, 14, 15 y 16, resultando la interacción Ca x M.O. la única doble que fue altamente significativa.

En los tratamientos sin enmienda, no se observa diferencias en las concentraciones a medida que se añadió más boro para el nivel 0% de materia orgánica (Gráfico 7), igual que para el calcio en el suelo. Para el nivel 1% de materia orgánica sólo se aprecian diferencias en la dosis 12 ppm de boro en el riego, aunque los valores fueron mayores que para 0% de materia orgánica, siendo la tendencia muy similar al calcio en el suelo, y para 2% de materia orgánica las concentraciones fueron similares para las dosis 0 y 4 ppm, al igual que para el suelo, pero para las dosis 8 y 12 ppm esta similitud con los niveles en el suelo sólo se observa en la dosis más alta. Se puede concluir que hay una relación directa entre el calcio foliar y el del suelo, conforme a lo expresado por Gupta y MacLeod (1977).

En los tratamientos con enmienda, para el nivel 0% de materia orgánica, las concentraciones fueron similares y para los niveles 1 y 2% de materia orgánica disminuyeron conforme se incrementaba la dosis de boro añadido. Estas tendencias no se apreciaron con el calcio en el suelo en donde fueron no significativas, siendo en este caso contrarias y altamente significativas, sobre todo en las dosis más altas (ver Apéndice).

La relación Ca/B varió de 32 a 90, resultando mayor en los tratamientos con la enmienda cálcica y en aquellos que recibieron las menores dosis de boro con el riego lo que concuerda con lo encontrado por Mc Ilrath y DeBruyn (1955).

**CUADRO 8**  
**CONCENTRACION DE CALCIO FOLIAR**  
 (ppm)

<b>Tratamiento</b>	<b>1<sup>er</sup> corte</b>	<b>2<sup>o</sup> corte</b>
1	11567	26033
2	12067	21800
3	11667	16033
4	12867	18933
5	16333	24267
6	15700	24033
7	15933	22533
8	19400	25833
9	16133	26933
10	15967	23867
11	19367	23067
12	19967	20267
13	22800	21767
14	20967	20567
15	23333	23167
16	22700	24800
17	19633	24367
18	19200	24700
19	18400	22700
20	17367	25100
21	15567	25767
22	13167	25300
23	11533	25500
24	12000	25833

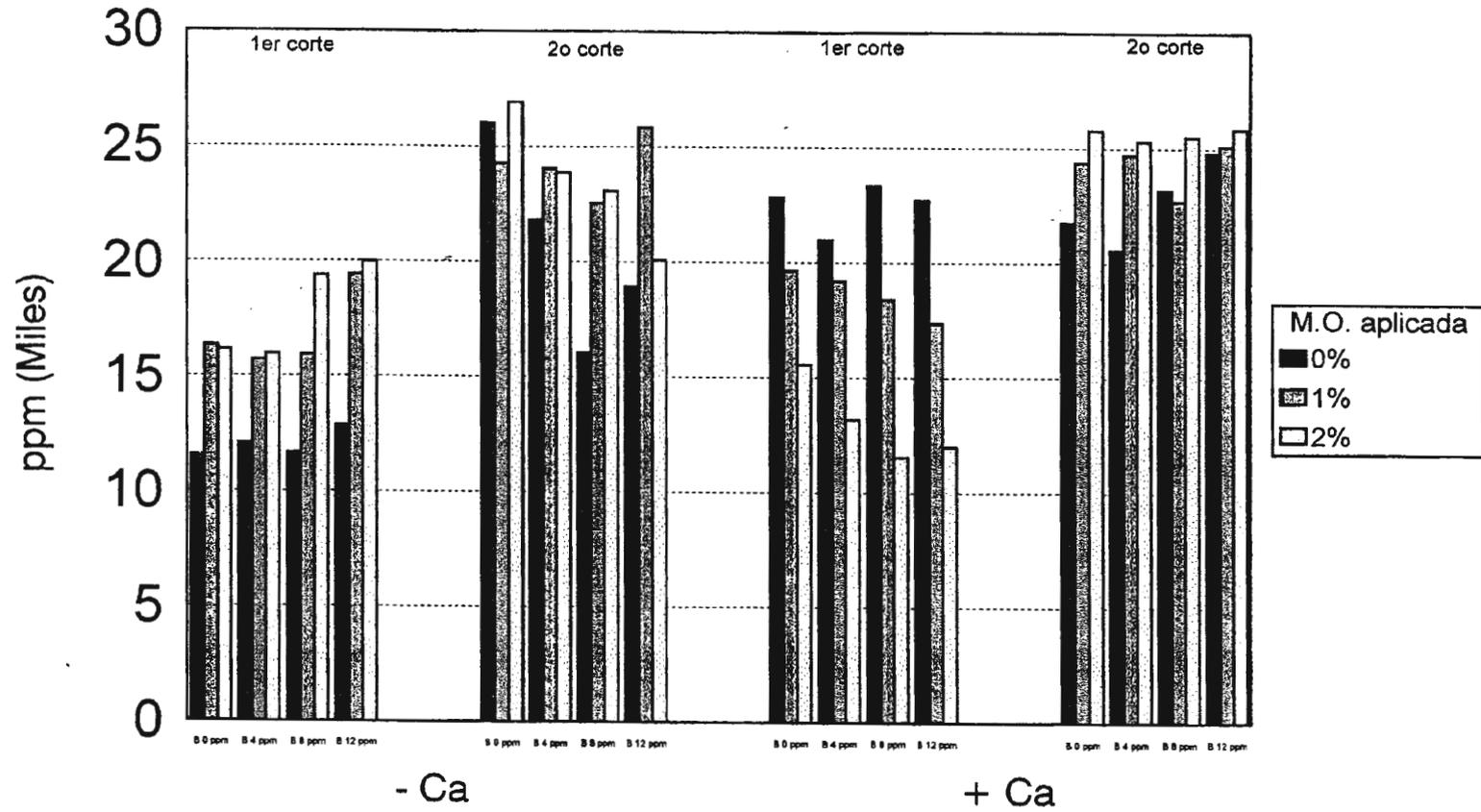


Gráfico 7. Concentración de calcio foliar

El efecto principal calcio y la interacción Ca x MO fueron altamente significativos y el efecto principal materia orgánica significativo, según el análisis de variancia (Apéndice). El coeficiente de variabilidad fue de 16,17%.

#### **4.12 Concentración de calcio foliar luego del segundo corte**

En el Cuadro 8 se observan los resultados. A pesar de la no ocurrencia de significación en casi todos los casos (sólo el efecto materia orgánica fue significativo, ver Apéndice), algunas tendencias pueden extraerse del Gráfico 7. En los tratamientos sin enmienda cálcica, para los niveles 0 y 2% de materia orgánica, hay una disminución en las concentraciones de calcio en el tejido a mayor dosis de boro en el riego, lo que no sucedió con 1% de materia orgánica, no obstante que en el suelo los mayores niveles de calcio estuvieron en aquellos tratamientos con más materia orgánica y más boro adicionado. Se encuentra, además, una relación inversa entre las concentraciones foliares de calcio y boro para esos dos niveles de materia orgánica en esos tratamientos debido posiblemente a un antagonismo o bloqueo en la absorción entre ambos elementos.

En los tratamientos con enmienda, para los niveles 1 y 2% de materia orgánica, las concentraciones de calcio fueron casi las mismas, observándose para 0% un ligero aumento con el incremento de la dosis de boro en el agua. En este caso se aprecia una mejor relación con los niveles de calcio en el suelo, salvo para el tratamiento 18 (1% de materia orgánica y 4 ppm de boro). Con respecto al boro, los resultados indican que no hubo relación entre calcio y boro en las hojas, aunque sí las mayores concentraciones foliares de ambos para cada nivel de

materia orgánica se registraron cuando se regó con 12 ppm de boro, pero para el caso del calcio foliar esas diferencias fueron no significativas para 1 y 2% de materia orgánica.

Comparando las concentraciones de calcio luego del primer y segundo cortes, apreciamos que hay un incremento de este elemento en el tejido excepto en tres tratamientos a los cuales se aplicó calcio pero no materia orgánica (13, 14 y 15) pero esa disminución no superó el 4%. En cambio, Gupta y MacLeod (1977) manifiestan que las concentraciones de calcio foliar disminuyeron entre el primer y segundo cortes, incluso en los tratamientos que recibieron calcio bajo diversas fuentes.

La relación Ca/B disminuyó en todos los casos con relación al primer corte, debido a que los incrementos de boro foliar fueron mayores que los del calcio. Esta relación varió entre 18 y 44.

Solamente el efecto principal materia orgánica resultó altamente significativo, según el análisis de variancia (Apéndice). El coeficiente de variabilidad fue de 16,54%.

#### **4.13 Concentración de magnesio foliar luego del primer corte**

Los resultados de este parámetro se presentan en el Cuadro 9. No se observan tendencias definidas en el Gráfico N° 8, sin embargo todas las interacciones fueron altamente significativas. Puede decirse que los tratamientos

con la enmienda cálcica tuvieron mayores concentraciones de magnesio cuando no se aplicó materia orgánica ya que cuando se aplicó ésta los niveles de magnesio fueron menores a sus similares sin enmienda. Esos tratamientos sin materia orgánica y con calcio aplicado fueron los que registraron las más altas concentraciones de magnesio foliar del trabajo, 6967 y 8467 ppm. También es claro apreciar en los tratamientos con materia orgánica y calcio, que cuanto más boro se adicionó menores niveles de magnesio en los tejidos se tuvieron, siendo éstos los más bajos de todo el trabajo. Esto coincide con lo observado para el calcio foliar, en donde la mayor concentración que fue obtenida en el tratamiento 15 (con enmienda cálcica, 0% de materia orgánica y 8 ppm de boro), valor que fue de 8467 ppm. Estas observaciones explican la alta significación de la interacción Ca x M.O.

La alta significación de la materia orgánica implica que existen diferencias entre los efectos de los distintos niveles de la materia orgánica aplicada, observándose con más claridad cuando se aplicó la enmienda cálcica.

Comparando con los niveles de magnesio en el suelo, para cada dosis de boro, se observa una relación inversa en muchos casos, es decir a más magnesio en el suelo menor es su concentración foliar. Posiblemente los mayores niveles de calcio en el suelo impidieron una absorción regular del magnesio.

Los resultados del análisis de variancia se exhiben en el Apéndice, donde apreciamos que el efecto principal materia orgánica y todas las interacciones fueron altamente significativos. El coeficiente de variabilidad fue de 17,40%.

**CUADRO 9**  
**CONCENTRACION DE MAGNESIO FOLIAR**  
**(ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>1<sup>er</sup> corte</b>	<b>2<sup>o</sup> corte</b>
1	4967	6933
2	5467	8067
3	4467	6500
4	5867	6500
5	6400	7467
6	4933	6500
7	4333	5500
8	5200	8000
9	5367	7467
10	4600	6800
11	5667	8733
12	5200	6400
13	4567	7767
14	6967	8333
15	8467	8167
16	5634	7367
17	5467	8767
18	4700	7900
19	4900	6433
20	3533	7500
21	4100	6900
22	4167	7467
23	3033	8233
24	3400	7467

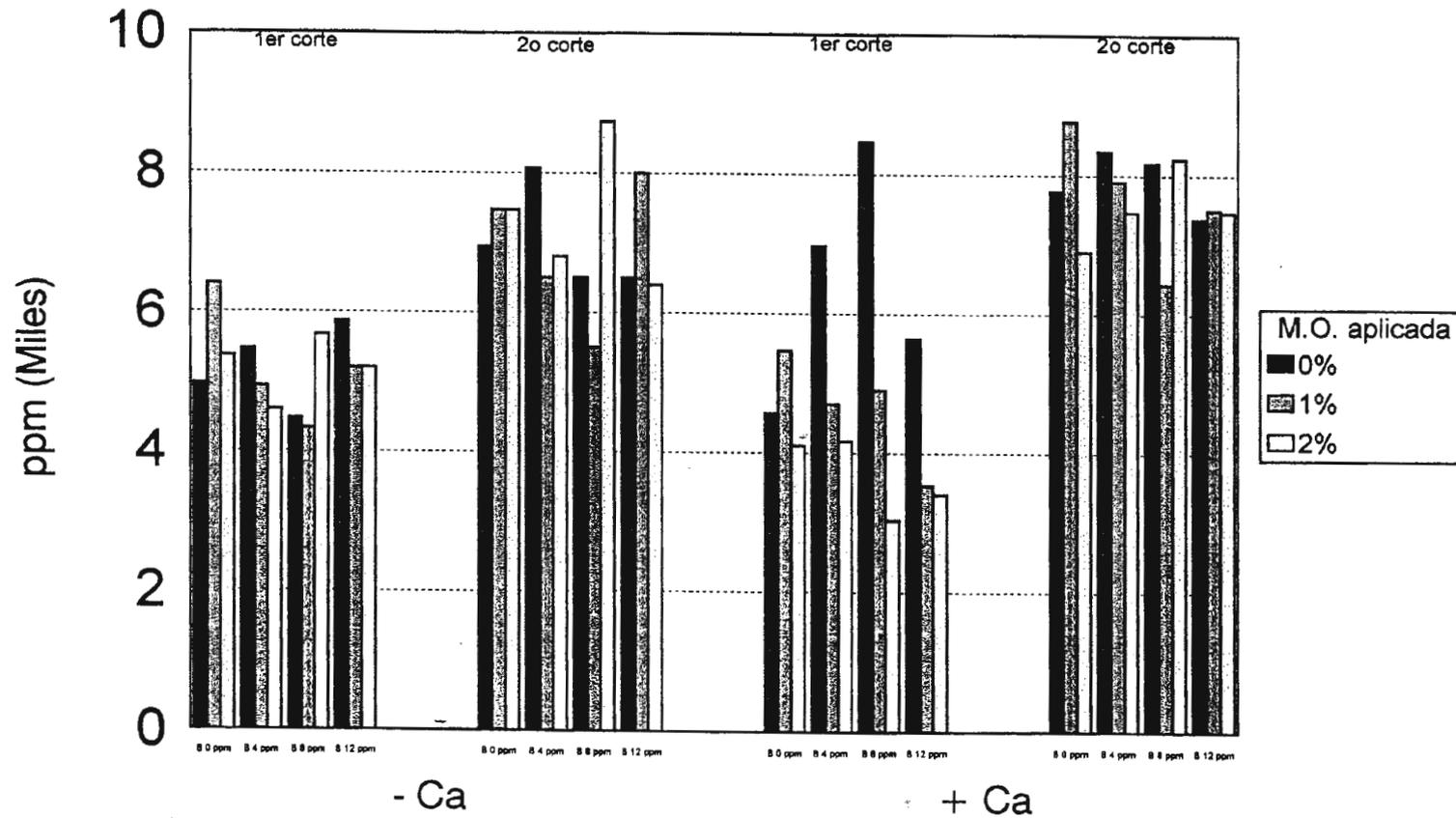


Gráfico 8. Concentración de magnesio foliar

#### **4.14 Concentración de magnesio foliar luego del segundo corte**

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de las concentraciones de magnesio foliar luego del segundo corte. Si bien todas las fuentes de variabilidad fueron no significativas (Apéndice), del Gráfico 8 se pueden discutir algunas aspectos: los tratamientos con la enmienda cálcica tuvieron mayores concentraciones foliares de magnesio que los tratamientos sin enmienda, excepto el tratamiento 23 (2% de materia orgánica y 8 ppm de boro en el riego). No se aprecia una tendencia definida de la materia orgánica ni del boro adicionado en disminuir o incrementar la concentración de magnesio, sólo en los tratamientos con enmienda y 0 y 2% de materia orgánica las variaciones fueron ligeras.

Con respecto a la relación con el calcio foliar, hay algunos puntos en común: la casi constante concentración de magnesio en los tratamientos con enmienda y 0 y 2% de materia orgánica ya comentada, y la misma tendencia y variación en los tratamientos en que se adicionó 12 ppm de boro, tanto para los tratamientos con aplicación de calcio como sin él.

En todos los casos existe un incremento de la concentración foliar frente al primer corte similar a lo ocurrido para este elemento en el suelo pero no se encuentra relación entre el magnesio foliar y el del suelo posiblemente debido a otros factores aparte del calcio.

Todos los efectos principales y las interacciones resultaron no significativas según el análisis de variancia realizado y cuyos valores se muestran

en el Apéndice. El coeficiente de variabilidad fue el más alto de todos los parámetros evaluados, 21,28%.

## V CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se efectuó el trabajo experimental, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Por el efecto del lavado inicial del suelo, se disminuyó la concentración de boro soluble, de 61 a 20,9 ppm.
2. La materia orgánica y el calcio redujeron la disponibilidad del boro en el suelo y por consiguiente una menor concentración en la planta. Esto se tradujo en mayores rendimientos.
3. La tendencia de la variación los pesos promedios de materia seca de alfalfa después del segundo corte fueron similares al primer corte, pero los rendimientos siempre fueron menores.
4. Los tratamientos que luego del primer corte tuvieron las menores concentraciones de boro soluble, después del segundo corte presentaron mayores concentraciones.
5. La aplicación de la enmienda cálcica redujo significativamente la concentración de boro en el suelo en los diferentes niveles de materia orgánica luego del primer corte. Este comportamiento no se observó en el segundo corte.

6. En los tratamientos que después del segundo corte no se aplicó la enmienda cálcica, las concentraciones de calcio y boro soluble tuvieron una relación positiva con el boro, en los distintos niveles de materia orgánica.
7. Luego del primer corte se observó una relación inversa entre los niveles de magnesio del suelo y el boro soluble.
8. Los niveles de magnesio y boro hallados en el suelo luego del segundo corte mostraron una relación positiva en los tratamientos sin la aplicación de la enmienda cálcica pero cuando ésta se aplicó tal relación fue inversa.
9. Las menores concentraciones de boro foliar después del primer corte se obtuvieron en los tratamientos que recibieron la aplicación de la materia orgánica y de la enmienda cálcica. Además, se observó que una relación directa entre los niveles de boro soluble y el foliar. Después del segundo corte, las concentraciones de boro foliar aumentaron espectacularmente con respecto al primero, registrándose concentraciones superiores a los 1000 ppm (tratamientos 8, 12, 20 y 24). No se apreció relación con los niveles de boro en el suelo, aunque sí se observó que cuanto más boro se adicionó con el riego, los niveles de boro foliar fueron mayores.
10. Se encontró una relación directa entre el calcio del suelo y el foliar luego del primer corte. La relación Ca/B fue mayor en los tratamientos que

recibieron la aplicación de calcio y en aquellos en los cuales se adicionaron las menores dosis de boro en el riego, registrándose valores de hasta 90.

11. Las concentraciones de calcio foliar aumentaron luego del segundo corte. Se apreció que en los tratamientos sin la aplicación de la enmienda cálcica para los niveles de 0 y 2% de materia orgánica, se produjo una disminución en los niveles de calcio en las hojas a mayor dosis de boro en el riego, así como una relación inversa entre calcio y boro foliar. La relación Ca/B disminuyó ya que los incrementos de boro fueron mayores que los de calcio en el tejido, siendo el mayor valor de 44.
12. En los tratamientos que se aplicó materia orgánica y calcio, los niveles de magnesio foliar fueron menores cuanto más boro se adicionó vía riego, después del primer corte. Además, se observó una relación inversa entre las concentraciones foliares de boro y magnesio. No se apreció ninguna relación entre ambos elementos luego del segundo corte.

## **VI RECOMENDACIONES**

1. Continuar en el campo con el estudio del boro en suelos que presentan altos niveles de este elemento, así como la aplicación de enmiendas que atenúen sus efectos tóxicos
2. Evaluar periódicamente en campos de agricultores afectados por boro las fluctuaciones de este elemento durante el año, analizando los factores que pueden incidir en esas concentraciones.
3. Evaluar el efecto que pueda tener el pH en suelos alcalinos sobre los niveles de boro.
4. Determinar en campo qué porcentaje de las mermas de los rendimientos de los cultivos sembrados en suelos con altos niveles de boro pueden atribuirse a la toxicidad de este elemento.
5. Realizar estudios similares con especies cultivadas sensibles a altos niveles de boro soluble.
6. Evaluar diferentes materiales orgánicos aplicados al suelo como posible fuente de incremento del boro soluble.

## **VII BIBLIOGRAFIA**

1. Alexander (1980) *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT Editor, S.A. México.
2. Bazán, R. (1971) *La toxicidad del boro en los cultivos de maíz, trigo y alfalfa desarrollados en dos suelos*. Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima
3. Bazán, R.; J. Estrada y L. Masson (1973) *El boro en los suelos de la Costa Peruana y su posible efecto en los cultivos*. *Anales Científicos* 11: 181-188 UNALM. Lima
4. Bingham, F. and A. Elsewi (1970) *Characteristics of boron Absorption by excised barley roots*. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 613-616
5. Bishop, R. and R. Cook (1958) *Laboratory and greenhouse studies on effect of lime and other amendments on water-soluble boron in soil*. *Can. J. Soil Sci.* 38: 27-35
6. Bowen, J. and P. Nissen (1976) *Boron uptake by excised barley roots. I. Uptake into the free space*. *Plant Physiol.* 57: 353-357
7. Bradford, G.R. (1966) *Boron*. In: H.D. Chapman: *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. University of California, Division of Agricultural Sciences.
8. Brady, N. (1990) *The nature and properties of soils*. Macmillan Publishing Company. Tenth edition. New York, USA.
9. Dionne, J. et A. Pesant (1978) *Effets des doses de bore, des régimes hydriques et du pH des sols sur les rendements de la luzerne et du lotier sur l'assimilabilité du Bore*. *Can. J. Soil Sci.* 58: 369-379

10. Elrashidi, M. and G. O'Connor (1982) Boron sorption and desorption in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 27-31
11. Elseewi, A. and A. Elmalky (1979) Boron distribution in soils and waters of Egypt. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 297-300
12. Fox, R. (1968a) Calcium and pH effect on boron uptake. Soil Sci. 106: 435-439
13. \_\_\_\_\_ (1968b) Tolerancia de las plantas de maíz, algodón, alfalfa y frijol a concentraciones altas de boro soluble en agua caliente en los suelos de la Costa Sur del Perú. Anales Científicos 6: 185-197 UNALM. Lima
14. Goldberg, S. and R. Glaubig (1986a) Boron adsorption on California soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1173-1175
15. \_\_\_\_\_ (1986b) Boron adsorption and silicon release by the clay minerals kaolinite, montmorillonite and illite. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1442-1448
16. Gros, A. (1986) Abonos. Ediciones Mundi-Prensa. 7a.edición. Madrid
17. Gupta, U.C. (1971) Boron requirement of alfalfa, red clover, brussels sprouts and cauliflower grown under greenhouse conditions. Soil Sci 112 : 280-281
18. \_\_\_\_\_ (1968) Relationship of total and hot water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 45-48
19. \_\_\_\_\_ (1972) Interaction effects of boron and lime on barley. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 332-334
20. \_\_\_\_\_ (1979) Boron nutrition of crops. In: Advances in Agronomy 31: 273-307

21. Gupta, U.C. and J. Cutcliffe (1972) Effects of lime and boron on brownheart, leaf tissue calcium/boron ratios, and boron concentrations of rutabaga. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 936-939
22. Gupta U.C. and J. MacLeod (1977) Influence of calcium and magnesium sources on boron uptake and yield of alfalfa and rutabaga as related to soil pH. *Soil Sci.* 124 (5): 279-284
23. \_\_\_\_\_ (1981) Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on Podzol soils. *Soil Sci.* 131(1): 20-24
24. Hatcher, J. and C. Bower (1958) Equilibria and dynamics of boron adsorption by soils. *Soil Sci.* 85: 319-323
25. Hingston, F., A. Posner and J.P. Quirk (1972) Anion adsorption by goethite and gibbsite. I: The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.* 23: 177-192
26. Jame, Y., J. Leyshon and C. Campbell (1982) Boron concentration in the soil solution under irrigation: a theoretical analysis. *Can. J. Soil Sci.* 62: 461-472
27. Keren, R., R.G. Gast and B. Bar-Yosef (1981) pH-Dependent boron adsorption by Na-Montmorillonite. *Soil Sci. Am. J.* 45: 45-48
28. Keren, R. and H. Talpaz (1984) Boron adsorption by montmorillonite as affected by particle size. *Soil Sci. Am. J.* 48: 555-558
29. Khan, Z., J. Ryan and K. Berger (1979) Available boron in calcareous soils of Lebanon. *Agron. Journal* 71: 688-690
30. Krauskopf, K.B. (1977) Geoquímica de los micronutrientes. En J. Mortvedt et al.: Los micronutrientes en la agricultura
31. Loué, A. (1988) Los microelementos en la agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid

32. Mahler, R., J. Hammel and R. Harder (1985) The influence of crop rotation and tillage methods on the distribution of extractable boron in Northern Idaho Soils. *Soil Sci.* 139: 67-73
33. Marschner, H. (1986) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Institute of Plant Nutrition. Academic Press
34. Mc Ilrath, W. and J. De Bruyn (1956) Calcium-boron relationships in Siberian millet. *Soil Sci.* 81: 301-310
35. Mc Phail, M., A. Page and F. Bingham (1972) Adsorption interactions of monosilicic and boric acid on hydrius oxides of iron and aluminum. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 510-514
36. Mengel, K. and E. Kirkby (1978) *Principles of plant nutrition*. Intern. Potash Institute. Bern
37. Mezuman, U. and R. Keren (1981) Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 722-726
38. Midgley, A. and D. Dunklee (1939) The effect of lime on the fixation of borates in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 4: 302-307
39. Muhr, G. (1940) Available boron as affected by soil treatments. *Soil Sci. Soc. Proc.* 5: 220-226
40. Noya, N. (1974) *Influencia del pH y del calcio sobre los efectos tóxicos del boro en el cultivo de maíz*. Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima
41. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales-ONERN (1970) *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa: Cuencas de los ríos Moquegua, Locumba, Sama y Caplina*.
42. \_\_\_\_\_ (1982) *Estudio Agrológico Semidetallado de las Pampas de la Margen derecha del Río Sama*

43. ONERN-INADE (1987) Calidad del agua de la Cuenca del Río Locumba
44. Parker, D. and E. Gardner (1982) Factors affecting the mobility and plant availability of boron in some Western Oregon soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 573-578
45. Peterson, L. and R. Neuman (1976) Influence of soil pH on the availability of added boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 280-282
46. Picón, E. (1990) Modelo óptimo económico de un sistema de riego por aspersión con aplicación al Proyecto Lomas de Sama. Tesis Mg. Sc. IRAT-UNALM
47. Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero (1994) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid - España
48. Reeve, R.; L. Wilcox and A. Pillsbury (1953) Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. *Hilgardia* 24 (4): 69-89
49. Sillanpää, M. (1982) Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. *FAO Soils Bulletin* N° 48
50. Sims, J. and F. Bingham (1967) Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. I: Layer silicates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 728-731
51. Stinson, C. (1953) Relation of water-soluble boron in Illinois soils to boron content of alfalfa. *Soil Sci.* 75: 31-36
52. Tanaka, A. (1967) Boron absorption by crop plants as affected by others nutrients of medium. *Soil Sci. Plant Nutr.* 13: 41-44
53. Wear, J. and R. Patterson (1962) Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26: 344-346

## **VIII APENDICE**

## 1. CUADROS DE ANALISIS DE VARIANCIA

### 1.1 Peso de Materia Seca de alfalfa al primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	0,5272	**
MO	2	0,0879	*
B	3	0,0521	*
Ca x MO	2	0,3441	**
Ca x B	3	0,0202	NS
MO x B	6	0,1184	**
Ca x MO x B	6	0,0423	*
Error	48	0,0177	
Total	71		

CV=16,87%

### 1.2 Peso de Materia Seca de alfalfa al segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	0,0551	**
MO	2	0,0878	**
B	3	0,0504	**
Ca x MO	2	0,0031	NS
Ca x B	3	0,0106	**
MO x B	6	0,0234	**
Ca x MO x B	6	0,0206	**
Error	48	0,0019	
Total	71		

### 1.3 Concentración de Boro en el suelo luego del primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	167,750	**
MO	2	40,310	**
B	3	459,050	**
Ca x MO	2	3,374	**
Ca x B	3	5,535	NS
MO x B	6	20,610	**
Ca x MO x B	6	26,316	**
Error	48	6,070	
Total	71		

CV=9,76%

### 1.4 Concentración de Boro en el suelo luego del segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	5694,140	**
MO	2	2151,573	**
B	3	983,392	**
Ca x MO	2	1292,171	**
Ca x B	3	25,693	NS
MO x B	6	20,101	NS
Ca x MO x B	6	35,464	**
Error	48	10,277	
Total	71		

CV=8,03%

### 1.5 Concentración de Calcio en el suelo luego del primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	957958,681	**
MO	2	633166,625	**
B	3	39450,326	NS
Ca x MO	2	412900,014	**
Ca x B	3	249927,162	*
MO x B	6	129570,958	NS
Ca x MO x B	6	147030,051	NS
Error	48	70040,306	
Total	71		

CV=10,53%

### 1.6 Concentración de Calcio en el suelo luego del segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	5219142,014	**
MO	2	112178,097	NS
B	3	50761,458	NS
Ca x MO	2	2602426,264	**
Ca x B	3	287233,792	**
MO x B	6	241637,653	**
Ca x MO x B	6	336221,153	**
Error	48	61052,931	
Total	71		

CV=7,00%

### 1.7 Concentración de Magnesio en el suelo luego del primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	11200,056	**
MO	2	17422,889	**
B	3	1216,204	NS
Ca x MO	2	1945,056	NS
Ca x B	3	830,278	NS
MO x B	6	242,370	NS
Ca x MO x B	6	896,500	NS
Error	48	928,639	NS
Total	71		

CV=12,47%

### 1.8 Concentración de Magnesio en el suelo luego del segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	2568,056	**
MO	2	433,514	NS
B	3	1160,056	*
Ca x MO	2	11995,181	**
Ca x B	3	3286,426	**
MO x B	6	717,569	*
Ca x MO x B	6	2717,162	**
Error	48	280,486	
Total	71		

CV=5,84%

### 1.9 Concentración de Boro foliar en el primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	48205,125	**
MO	2	12530,792	*
B	3	58829,125	**
Ca x MO	2	29727,375	**
Ca x B	3	1605,458	NS
MO x B	6	9377,403	*
Ca x MO x B	6	7688,542	*
Error	48	2928,958	
Total	71		

CV=16,47%

### 1.10 Concentración de Boro foliar en el segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	78276,06	*
MO	2	65085,04	*
B	3	445654,83	**
Ca x MO	2	103133,43	**
Ca x B	3	952,39	NS
MO x B	6	6110,15	NS
Ca x MO x B	6	17953,32	NS
Error	48	15396,37	
Total	71		

CV=15,04%

### 1.11 Concentración de Calcio foliar en el primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	110261250,0	**
MO	2	34575555,6	*
B	3	4663842,6	NS
Ca x MO	2	348560000,0	**
Ca x B	3	17737175,9	NS
MO x B	6	667037,0	NS
Ca x MO x B	6	7705925,9	NS
Error	48	7397777,8	
Total	71		

CV=16,17%

### 1.12 Concentración de Calcio foliar en el segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	32670138,9	NS
MO	2	60321805,6	*
B	3	21768287,0	NS
Ca x MO	2	7660138,9	NS
Ca x B	3	29567175,9	NS
MO x B	6	8669398,1	NS
Ca x MO x B	6	14377731,5	NS
Error	48	15048611,1	NS
Total	71		

CV=16,54%

### 1.13 Concentración de Magnesio foliar en el primer corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	1560555,56	NS
MO	2	11351666,67	**
B	3	511296,30	NS
Ca x MO	2	11677222,22	**
Ca x B	3	3626851,85	**
MO x B	6	2984629,63	**
Ca x MO x B	6	2647962,96	**
Error	48	775138,89	
Total	71		

CV=17,40%

### 1.14 Concentración de Magnesio foliar en el segundo corte

<u>Fuente de Variabilidad</u>	<u>GL</u>	<u>Cuadrados Medios</u>	
Ca	1	6906805,56	NS
MO	2	277638,89	NS
B	3	543842,59	NS
Ca x MO	2	945972,22	NS
Ca x B	3	91620,37	NS
MO x B	6	4736342,59	NS
Ca x MO x B	6	1292453,70	NS
Error	48	2469027,78	
Total	71		

CV=21,28%

## 2 PRUEBA DE COMPARACIONES MULTIPLES DE DUNCAN

### 2. 1 PESO DE MATERIA SECA DE ALFALFA AL PRIMER CORTE (en gramos)

Tratamiento	Promedio	Duncan
19	1,144	A
1	1,127	A B
21	1,041	A B C
17	0,997	A B C D
20	0,991	A B C D
23	0,961	A B C D
24	0,957	A B C D
22	0,880	B C D E
18	0,844	C D E F
2	0,836	C D E F G
13	0,827	C D E F G
12	0,784	C D E F G H
7	0,783	C D E F G H
11	0,772	D E F G H
6	0,697	E F G H I
9	0,665	E F G H I
16	0,646	E F G H I
14	0,612	F G H I
8	0,593	F G H I
15	0,592	F G H I
3	0,581	G H I
10	0,580	G H I
4	0,533	H I
5	0,488	I

**2.2 PESO DE MATERIA SECA DE ALFALFA AL SEGUNDO CORTE  
(en gramos)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
21	0,7061	A
1	0,6559	A B
13	0,6148	B C
24	0,5873	B C D
9	0,5820	B C D
11	0,5753	C D
22	0,5692	C D
12	0,5665	C D
19	0,5535	C D E
16	0,5188	D E F
23	0,5135	D E F G
20	0,5114	D E F G
14	0,5028	D E F G H
5	0,4775	E F G H
15	0,4751	E F G H
2	0,4671	F G H
6	0,4488	F G H
7	0,4480	F G H
17	0,4323	G H
10	0,4233	H
18	0,3501	I
8	0,3456	I
3	0,3424	I
4	0,3387	I

**2.3 CONCENTRACION DE BORO EN EL SUELO LUEGO DEL  
PRIMER CORTE (en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
16	4,033	A
11	3,933	A
8	33,433	AB
12	32,633	AB C
4	30,500	AB C D
19	29,133	B C D
20	28,900	C D
6	28,700	C D
3	27,400	D E
7	27,400	D E
24	27,167	D E
15	26,033	D E F
10	23,800	E F G
18	23,200	E F G
1	22,600	F G
23	21,733	F G H
5	21,033	G H
17	20,900	G H
13	20,333	G H I
2	20,200	G H I
14	19,800	G H I
9	19,500	G H I
22	17,467	H I
1	15,800	I

**2.4 CONCENTRACION DE BORO EN EL SUELO LUEGO DEL  
SEGUNDO CORTE (en ppm)**

Tratamiento	Promedio	Duncan
24	73,367	A
23	69,300	A
22	68,833	A
21	59,700	B
20	3,967	C
19	48,300	D
16	46,267	DE
18	42,567	EF
12	41,967	EF
15	40,567	EF
4	40,300	F
11	37,700	F
3	31,733	G
14	31,467	G
10	31,167	G
7	31,133	G
8	30,833	G
6	29,767	G H
17	29,733	G H
2	26,333	G H I
13	24,333	H I
9	23,767	I
1	23,200	I
5	22,067	I

**2.5 CONCENTRACION DE CALCIO EN EL SUELO LUEGO DEL  
PRIMER CORTE (en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
14	3020,0	A
21	2868,0	A B
12	2765,7	A B
23	2755,3	A B
19	2732,7	A B
8	2712,3	A B
13	2711,3	A B
20	2686,7	A B
7	2654,7	A B C
5	2650,7	A B C
6	2638,3	A B C D
18	2619,0	A B C D
22	2556,0	A B C D E
17	2538,3	A B C D E
9	2520,3	A B C D E
15	2485,3	B C D E
10	2445,0	B C D E
24	2426,0	B C D E
16	2142,0	C D E F
4	2141,0	C D E F
3	2129,3	DEF
2	2129,3	DEF
11	2060,3	EF
1	1925,3	F

**2.6 CONCENTRACION DE CALCIO EN EL SUELO LUEGO DEL  
SEGUNDO CORTE (en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
18	4629,0	A
15	4382,3	A B
14	4207,3	A B C
3	4136,0	B C D
16	4031,0	B C D
17	3901,3	C D E
12	3730,0	D E F
24	3585,3	E F G
23	3540,7	E F G H
11	3515,3	E F G H
9	3460,0	E F G H I
10	3458,7	E F G H I
20	3383,7	F G H I
8	3350,3	F G H I
7	3341,0	F G H I
19	3310,0	F G H I
21	3266,0	F G H I J
22	3200,0	F G H I J
5	3185,7	F G H I J
3	3162,3	F G H I J
4	3089,0	I I I J
2	3021,0	I J
6	2999,3	I J
1	2798,3	J

**2.7 CONCENTRACION DE MAGNESIO EN EL SUELO LUEGO DEL  
PRIMER CORTE (en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
10	310,67	A
7	296,00	AB
6	281,67	ABC
9	276,67	ABC
12	269,33	ABCD
8	268,33	ABCD
23	265,33	ABCDE
21	263,33	ABCDE
5	259,33	ABCDE
11	253,00	ABCDE
18	241,67	BCDE
2	239,00	BCDE
22	238,67	BCDE
17	238,00	BCDE
24	234,33	CDE
20	231,33	CDE
19	227,00	CDE
14	221,33	CDE
3	213,33	DE
13	210,67	DE
1	207,67	E
4	206,33	E
15	205,67	E
16	204,67	E

**2.8 CONCENTRACION DE MAGNESIO EN EL SUELO LUEGO DEL  
SEGUNDO CORTE ( en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
8	329,00	A
10	323,33	AB
11	322,33	AB
17	319,33	AB
2	317,33	AB
9	317,00	AB
14	313,00	AB
7	310,00	AB C
8	309,33	AB C
15	303,00	AB C D
13	291,67	B C D E
16	291,67	B C D E
4	280,00	C D E F
6	278,67	C D E F
2	278,67	C D E F
23	272,33	D E F G
3	268,33	E F G H
22	268,33	E F G H
5	263,67	E F G H
24	260,67	E F G H
21	250,67	F G H I
1	242,67	G H I
20	239,33	H I
19	229,00	I

**2.9 CONCENTRACION DE BORO FOLIAR EN EL PRIMERCORTE  
(en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
8	499,00	A
11	492,00	A
7	436,33	AB
4	402,00	ABC
16	401,33	ABC
6	380,67	BCD
15	359,67	BCDE
20	354,00	BCDE
5	346,00	BCDEF
24	343,33	BCDEF
19	329,67	CDEFG
23	326,33	CDEFG
2	322,33	CDEFGH
14	308,33	CDEFGH
3	303,33	CDEFGH
1	290,67	DEFGH
12	276,67	DEFGH
13	263,00	EFGH
10	263,00	EFGH
22	260,33	EFGH
9	242,00	FGH
18	236,33	GH
21	232,67	GH
17	218,00	H

**2.10 CONCENTRACION DE BORO FOLIAR EN EL SEGUNDO  
CORTE  
(en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
8	1134,7	A
24	1040,7	A B
20	1012,3	A B
12	1011,0	A B
7	991,0	A B C
4	980,7	A B C
11	969,7	A B C
23	899,7	A B C D
22	878,7	B C D
19	875,0	B C D
3	872,7	B C D
16	867,3	B C D
21	803,3	B C D E
15	802,7	B C D E
2	801,3	B C D E
5	765,3	C D E F
6	751,7	C D E F
1	716,0	D E F
10	697,0	D E F
18	658,7	D E F
9	605,7	E F
17	581,7	E F
13	543,0	F
14	542,3	F

**2.11 CONCENTRACION DE CALCIO FOLIAR EN EL PRIMER CORTE  
(en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
15	23333	A
13	22800	A
16	22700	A
14	20967	A B
12	19967	A B C
17	19633	A B C
8	19400	A B C
11	19367	A B C
18	19200	A B C
19	18400	A B C
20	17367	B C D
5	16333	B C D E
9	16133	B C D E
10	15967	B C D E
7	15933	B C D E
6	15700	B C D E
21	15567	C D E
22	13167	D E
4	12867	D E
2	12067	E
24	12000	E
3	11667	E
1	11567	E
23	11533	E

**2.12 CONCENTRACION DE CALCIO FOLIAR EN EL SEGUNDO  
CORTE  
(en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
9	26933	A
1	26033	A B
8	25833	A B
24	25833	A B
21	25767	A B
23	25500	A B
22	25300	A B
20	25100	A B
16	24800	A B
18	24700	A B
17	24367	A B
5	24267	A B
6	24033	A B
10	23867	A B
15	23167	A B C
11	23067	A B C
19	22700	A B C
7	22533	A B C
2	21800	A B C
13	21767	A B C
14	20567	A B C
12	20067	A B C
4	18933	B C
3	16033	C

**2.13 CONCENTRACION DE MAGNESIO FOLIAR EN EL PRIMER CORTE**  
(en ppm)

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
15	8466,7	A
14	6966,7	B
5	6400,0	B C
4	5866,7	B C D
11	5666,7	B C D E
16	5633,3	B C D E
17	5466,7	B C D E
2	5466,7	B C D E
9	5366,7	B C D E
12	5200,0	C D E F
8	5200,0	C D E F
1	4966,7	C D E F G
6	4933,3	C D E F G
19	4900,0	C D E F G
18	4700,0	C D E F G H
10	4600,0	D E F G H
13	4566,7	D E F G H
3	4466,7	D E F G H
7	4333,3	D E F G H
22	4166,7	D E F G H
21	4100,0	E F G H
20	3533,3	F G H
24	3400,0	H
23	3033,3	H

**2.14 CONCENTRACION DE MAGNESIO FOLIAR EN EL SEGUNDO  
CORTE  
(en ppm)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Duncan</b>
17	8767	A
11	8733	A
14	8333	A B
23	8233	A B
15	8167	A B
2	8067	A B
8	8000	A B
18	7900	A B
13	7767	A B
20	7500	A B
9	7467	A B
24	7467	A B
5	7467	A B
22	7467	A B
16	7367	A B
1	6933	A B
21	6900	A B
10	6800	A B
3	6500	A B
4	6500	A B
6	6500	A B
19	6433	A B
12	6400	A B
7	5500	B