

RESPUESTA DEL OJARANZO

(*RHODODENDRON PONTICUM* L.) A

LOS SUELOS ACIDOS

ELVIRA ESQUIVIA CAMARGO

XXX CURSO INTERNACIONAL DE EDAFOLOGIA Y

BIOLOGIA VEGETAL

Sevilla, 1993

## INDICE

	Pág.
1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- Suelos ácidos.....	1
1.1.1.- pH del suelo.....	1
1.1.2.- Naturaleza de la acidez del suelo.....	2
1.1.3.- Acidez de la superficie del suelo.....	3
1.1.3.1.- Hidrógeno y Aluminio intercambiable.....	3
1.1.3.2.- Acidez no cambiabile.....	5
1.1.4.- Desarrollo de la acidez.....	6
1.1.4.1.- Material parental.....	7
1.1.4.2.- Lixiviación.....	8
1.1.4.3.- Raíz de la planta como fuente de acidez...	10
1.1.4.4.- Lluvia ácida.....	11
1.1.5.- Acidez del suelo.....	12
1.1.6.- Poder amortiguador del suelo.....	13
1.1.7.- Efectos de la acidez en el crecimiento de las plantas.....	14
1.1.7.1.- Efectos del H+.....	14
1.1.7.2.- Efectos del aluminio.....	16
1.1.7.2.1.- Efectos beneficiosos.....	16
1.1.7.2.2.- Síntomas de toxicidad del aluminio.....	16
1.1.7.2.3.- Interacción del fosfato y el aluminio...	20

1.1.8.- Macronutrientes.....	21
1.1.8.1.- Calcio.....	21
1.1.8.2.- Magnesio.....	24
1.1.8.3.- Potasio.....	25
1.1.8.4.- Nitrógeno.....	26
1.1.8.5.- Fósforo.....	28
1.1.8.6.- Azufre.....	28
1.1.9.- Oligoelementos indispensables para la vida de las plantas.....	30
1.1.9.1.- Manganeso.....	31
1.1.9.2.- Hierro.....	32
1.1.9.3.- Cinc.....	34
1.1.9.4.- Cobre.....	35
1.1.9.5.- Boro.....	36
1.1.9.6.- Molibdeno.....	37
1.1.9.7.- Tolerancia a la acidez: diferencia entre especies y variedades.....	38
1.2.- Objetivos del trabajo.....	40
2.- AREA DE ESTUDIO.....	41
2.1.- Sierras y Colinas de Campo de Gibraltar.....	41
2.1.1.- Datos geológicos.....	42
2.1.2.- Clima.....	44
2.2.- Suelos de la región de Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar.....	45
2.2.2.- Lehm margoso bético.....	50

2.2.3.- Suelos de vega aluvial.....	52
2.2.4.- Suelos rojos mediterráneos.....	54
2.2.5.- Tierra parda caliza.....	56
2.2.6.- Propiedades fisicoquímicas y composición mineralógica de algunas arcillas de suelos de la provincia.....	57
2.3.- Vegetación.....	59
2.3.1.- Bosques, matorrales y pastos.....	59
2.3.2.- Dominio climático de <i>Rhododendron</i> - <i>Alnion</i> ....	64
3.- MATERIALES Y METODOS.....	66
3.1.- Biología de <i>Rhododendron</i> .....	66
3.1.1.- Distribución geográfica y altitudinal.....	67
3.1.2.- Habitat.....	68
3.1.3.- Comunidades.....	70
3.1.4.- Respuesta a factores abióticos.....	71
3.1.5.- Morfología.....	72
3.2.- Muestreo de suelos y plantas.....	74
3.3.- Area foliar.....	74
3.4.- Análisis químico.....	76
3.4.2.- Mineralización de las muestras.....	76
3.4.3.- Determinación de los nutrientes.....	77
3.5.- Análisis de suelos.....	81
3.5.1.- Determinación del pH del suelo.....	81
3.5.2.- Conductimetría.....	82

3.5.3.- Determinación del carbono orgánico.....	83
3.5.4.- Determinación del nitrógeno.....	84
3.5.5.- Determinación del potasio disponible.....	85
4.- RESULTADOS .....	87
4.2.- Morfología de la hoja.....	90
4.3.- Concentración de los elementos minerales.....	99
4.3.1.- Contenido en macronutrientes.....	101
4.3.2.- Contenido en micronutrientes.....	116
5.- CONCLUSIONES.....	130
BIBLIOGRAFIA.....	135

## AGRADECIMIENTOS.

Al Dr. Antonio Troncoso Arce, Director del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla por haberme facilitado las condiciones necesarias para la realización del presente trabajo.

Al Dr. D. Teodoro Marañón Arana director de esta memoria por todo el tiempo que me ha dedicado, por sus constantes orientaciones, su disposición por enseñarme y desinteresado apoyo.

Al Dr. D. Juan Arroyo por su apoyo constante y por haberme permitido participar en este proyecto.

Al Dr. Luis Clemente coordinador del XXX Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal por su valiosa colaboración y su amistad.

A las investigadoras Dra. Da Carmen Mazuelos, Mary Carmen Grande y Asunción Castro por haberme brindado su ayuda en la parte experimental del trabajo y su constante amabilidad.

Al Dr. D. José Luis Mudarra por su apoyo incondicional y su interés.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su ayuda para la realización de este trabajo: compañeros de la facultad de biología de la Universidad de Sevilla y del IRNA.

A todos muchas gracias.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1.- Suelos ácidos.

#### 1.1.1.- pH del suelo.

Uno de los factores físicos-químicos en donde reside el fundamento del valor agrícola de un suelo, es su reacción grado de acidez o pH. Es un determinante de la fertilidad, la cual es de mucha importancia debido a que su conocimiento da buenos rendimientos de los cultivos.

El pH de una solución es el logaritmo negativo de iones  $H^+$  activados ( $pH = -\log(H^+)$ ) cuando  $(H^+) = Y(H^+)$  donde: Y es el coeficiente de actividad del  $H^+$  y  $(H^+)$  es la concentración en moles por litro de iones en la solución. La escala valores de pH hallados en la solución del suelo están entre 2 y 10.5, i.e. la escala de actividad de los iones  $H^+$  entre  $10^{-2}$  y  $3 \times 10^{-11}$  mol. Porque el hidrógeno está presente en la solución acuosa como un catión el pH del suelo fue considerado en término de  $H^+$  intercambiable tan bien como hidrógeno en la solución.

La adición de agua a un suelo cambia la concentración de  $H^+$  en la solución del suelo y en un suelo ácido el pH aumenta. Sin embargo, si el suelo tiene una carga negativa en dilución,

más iones divalentes en el sistema son absorbidos. Si  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{H}^+$  son solo los cationes presentes, la relación de  $\text{Ca}^{2+}:\text{H}^+$  en la superficie de cambio puede aumentar cuando el agua es adicionada y  $\text{H}^+$  pueden ser liberados en la solución neutralizando alguna extensión por agua.

Aunque el pH del suelo puede no tener un valor preciso ni un significado inequívoco, un conocimiento de su valor es útil y es a menudo la primera medida para hacer un análisis de suelo. Tanto en términos de nutrición en plantas como para el entendimiento de las propiedades químicas del suelo el valor del pH es necesario.

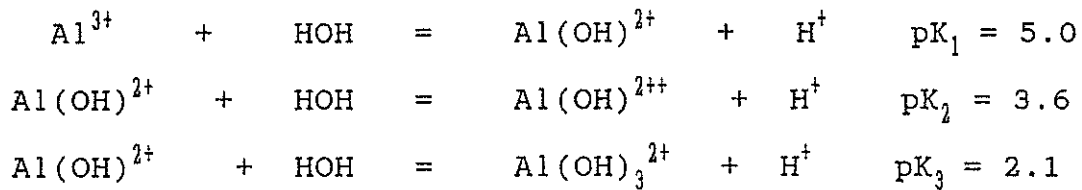
#### 1.1.2. Naturaleza de la acidez del suelo.

Los efectos del pH suelo en el crecimiento de las plantas son en gran parte por efectos del pH como tal en la función de la raíz y en parte por sus efectos en las propiedades del suelo. La característica predominante de los suelos ácidos es la presencia de aluminio en forma soluble y cambiante.

La principal forma iónica es el ion  $\text{Al}^{3+}$  hidratado ( $6\text{H}_2\text{O}$ ) que aparece bajo la forma intercambiante en los suelos y en las soluciones del suelo en medio ácido, en especial por aci-



dolisis de minerales arcillosos. Dominante a un pH 5, el ion  $\text{Al}^{3+}$  es progresivamente reemplazado por iones hidroxialumínicos cuando el pH es igual o mayor que 5 siguiendo las sucesivas reacciones de hidrólisis a medida que aumenta el pH:

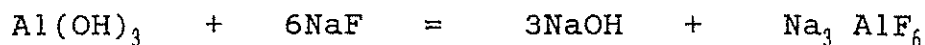


El ion  $\text{Al}^{3+}$  y, en menor grado sus hidróxidos poco intercambiables, son responsables de la acidez de la solución del suelo, sobre todo en los horizontes minerales ácidos ( $\text{pH} < 5$ ). Pero es, con preferencia, en los suelos desaturados donde estos iones aluminicos equilibran, conjuntamente con las bases de cambio. El Al domina a menudo la capacidad de intercambio, por lo que puede tener un efecto tóxico en las plantas.

### 1.1.3.- Acidez en la superficie del suelo.

#### 1.1.3.1.- Hidrógeno y Aluminio intercambiable.

El método tradicional de extracción de cationes cambiabiles del suelo usando acetato de amonio molar amortiguador a pH7 causa que algunos iones Al inicialmente presentes sean precipitados como hidróxidos. Por esta razón es mejor utilizar una solución no amortiguadora 1M de KCl para suelos ácidos (10g de suelo + 100cm solución, lixiviados a través del suelo sobre un período de 2 horas). Estos extraen H y Al junto con otros cationes (predominantemente Mg, Ca) del pH natural del suelo. La acidez cambiabile (H + Al) es determinada en la ex-tracción por análisis volumétrico con NaOH usando fenolftaleina. Añadiendo fluoruro de sodio da la siguiente reacción:



El hidróxido de sodio liberado es equivalente a la cantidad de Al en el extracto y puede ser tratado con HCl usando el mismo indicador. Esto da una medida de Al cambiabile en meq por 100 g de suelo, y el H cambiabile puede ser calculado por diferencia.

El Al forma una gran proporción del total de cationes en los suelos ácidos, pero solo una pequeña parte es extraída sobre pH 5.5.

Hay una diferencia en el comportamiento entre la superficie

del suelo y el subsuelo, la cual es presumiblemente un efecto de la materia orgánica. Grandes cantidades de Al cambiabile entre pH 5.5 y 6.0 pueden ser el resultado de complejos orgánicos de Al en la superficie y en la solución. El quelato de Al no es, sin embargo, tan tóxico como el Al libre, que puede en parte explicar el bajo valor del pH crítico para el crecimiento de las plantas en suelos orgánicos y la importancia de adiciones de materia orgánica en el manejo de acidez del suelo. Baja cantidad total de Al en suelos orgánicos puede también bajar el valor del pH crítico.

### 1.3.2.- Acidez no cambiabile.

La acidez no cambiabile contribuye a una dosificable o total acidez. Puede tener gran proporción del total de acidez en suelos ricos en materia orgánica, óxidos o alofanos. La acidez total es medida por valoración de la suspensión del suelo.

La acidez no cambiabile está en forma de protones que pueden ser liberados de las superficies cuando el pH aumenta o como Al no cambiabile. La acidez cambiabile no tiene efecto directo en el crecimiento de la planta pero es neutralizado cuando el pH

es elevado. Hay 3 fuentes principales de protones:

.- Polímeros de hidróxidos de aluminio que transportan carga positiva pero no son cambiante. Cuando el pH aumenta coordinadamente las moléculas de agua donan protones a la solución del suelo y  $\text{Al}(\text{OH})_3$  es eventualmente producido aunque donde está presente como intercapas en esmectitas y vermiculitas queda una carga +0.3 por Al.

.- Grupos reactivos de OH en la superficie de hierro hidratado y óxidos de aluminio y en partículas de arcilla, particularmente las arcillas 1:1. Cuando el pH aumenta, la donación de protones a la solución causa que la superficie se vuelva más negativa.

.- Grupos carboxilos, hidroxilos y aminos en la materia orgánica que se disocia cuando el pH aumenta. Grupos disociados son grandemente colmados por aluminio que es difícil cambiar, pero reacciona con base adicionada.

1.1.4.- Desarrollo de la acidez.

Una de las más sorprendentes propiedades químicas de los suelos es su variabilidad en condiciones de pH con escala de valores de 2 para suelos sulfatos ácidos y sobre 10 para suelos sódicos.

Los cambios de la acidez dentro de un perfil pueden ser cuantificados por medio de la cantidad de iones H, en la que se consideran todas las entradas y pérdidas de protones en la solución y superficie de cambio. A parte de entradas por la atmósfera y pérdidas por lavado hay una entrada de protones siempre que un proceso libere aniones sin liberación de una cantidad equivalente de cationes o remueva más cationes que aniones. Existen pérdidas de protones (liberación de hidroxilos) siempre que un proceso libere más cationes que aniones o remueva más aniones que cationes. Un aumento neto de protones puede causar el desplazamiento de otros cationes de los sitios de cambio, normalmente Ca + Mg, y estos pueden ser removidos por lixiviación.

#### 1.1.4.1.- Material parental.

El agua lluvia, en ausencia de óxidos de azufre y nitrógeno,

es una solución diluida de ácido carbónico de pH 5.65. La disolución de  $\text{CO}_2$  producido por la respiración en el suelo disminuye además el pH, los minerales del suelo se disuelven en esta solución y el resultado de la solución puede tener un pH que depende de la composición de los minerales.

Los suelos tienen capacidades de cambio catiónico asociados a los constituyentes minerales y orgánicos y los cationes liberados durante la disolución pueden competir por estos sitios de cambio. Los iones divalentes compiten fuertemente con  $\text{H}^+$ . Material parental y minerales pueden ser considerados como ácidos o básicos dependiendo de su relación  $\text{Al}:(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K})$ , porque aunque la disolución de los minerales es a menudo incongruente (no completo en un paso), por consecuencia de un desgaste esta reacción puede disminuir la entrada de cationes ácidos o básicos en el sistema del suelo.

#### 1.1.4.2.- Lixiviación.

Donde hay un movimiento neto descendente de agua a través de la capa de superficie de un material parental, las concentraciones de iones en el agua pueden ser bajas.

Los compuestos orgánicos solubles pueden también estar presentes en el lavado de agua, las fuentes son hojas basura y

materia orgánica del suelo. Especies de árbol, condiciones inicial del suelo, manejo y la proporción de árboles eliminados (removidos) por tala son todos factores importantes en el largo período de impacto de bosques de suelos ácidos. El desarrollo de la acidez resulta por la pérdida de Ca y Mg de los suelos por desgaste mineral y liberación de cationes de cambio en la superficie.

La respiración y la mineralización son procesos importantes que desarrollan la acidez y causan pérdida de cationes. Los procesos asociados son:

a.- El  $\text{CO}_2$  producido por la respiración se disuelve para dar  $\text{H}_2\text{CO}_3$  con disociación de  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ , éste último es lavado junto con algunos  $\text{H}^+$

b.-La mineralización de la materia orgánica produce nitrato, sulfato y fosfato. La producción de  $\text{NO}_3^-$  envuelve la oxidación de  $\text{NH}_4^+$  con dos iones  $\text{H}^+$  producidos por  $\text{NH}_4^+$  oxidado. El fosfato es fuertemente absorbido, pero todo el nitrato es liberado para ser lavado, así con algunos de los sulfatos dependiendo de las características de absorción del suelo. La abundante mineralización del suelo con su asociada producción de acidez ocurre después de la deforestación, después del labrado de

prados y especialmente en otoño cuando el suelo cálido seco es rehumedecido y en primavera cuando la temperatura del suelo aumenta. El desarrollo de la acidez es reducida si las pérdidas por lavado de calcio , magnesio y nitrato liberado en la solución del suelo son mínimas por la profundidad de las raíces de la cosecha.

El desplazamiento de los iones calcio y magnesio de los suelos es también dependiente de la relación de carga permanente variable. Los grupos ácidos débiles de la carga variable de la superficie libera  $\text{Ca}^{2+}$  más prontamente que la carga permanente y los suelos orgánicos por lo tanto liberan  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  más prontamente.

#### 1.1.4.3.- Raíz de la planta como fuente de acidez.

Ahí aparece una pequeña duda, de que muchas plantas creciendo bajo condiciones naturales causan aumento del pH del suelo. Análisis de 62 especies de plantas creciendo en el suelo mostró que contienen un promedio de 2.5 meq cationes absorbidos ( $\text{K}+\text{Na}+\text{Mg}+\text{Ca}$ ) y 3.6 meq de aniones absorbidos ( $\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^- + \text{PO}_4^- + \text{Cl}^-$ ) por gramo de materia seca de la superficie. En general, las raíces liberan  $\text{HCO}_3^-$  o  $\text{OH}^-$  para mantener la neutralidad



eléctrica en la superficie de la raíz ( $3.6 - 2.5 = 1.1$  meq  $\text{HCO}_3^-$  por g de materia seca). Cuando las plantas son suministradas con  $\text{NH}_4^+$  antes que nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) entonces el pH en la zona de la raíz desciende. Los cambios en la zona de la raíz están en un máximo cuando el pH del suelo está alrededor de 5.3 porque a este pH la difusión de la acidez es lenta. Esto último también tiene el efecto de disminuir el espesor de la zona influenciada por la raíz, siendo la zona alrededor de 1mm de espesor. En un suelo con pH 8, los cambios en el pH son pequeños porque las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  son altas en la solución del suelo.

#### 1.1.4.4.- Lluvia ácida.

Existen muchas discusiones y argumentos respecto de los efectos de la quema de fósiles combustibles en la acidez del agua- lluvia y los subsiguientes efectos de éstas en suelos, ríos y lagos, y en la vida de las plantas y animales en estos ecosistemas.

La deposición de los ácidos envuelve  $\text{H}^+$  (con  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el agua lluvia, disolviendo  $\text{NH}_4^+$  que produce acidez cuando es nitrificado y la deposición seca de  $\text{SO}_2$  que produce acidez

cuando se disuelve y es oxidado en el suelo.

#### 1.1.5.- Acidez del suelo.

El encalado y sus efectos en el crecimiento de las plantas son normalmente considerados en relación a cambios ocurridos en la capa cultivada del suelo, pero las cosechas crecen arraigadas por debajo a mucha mayor profundidad a que el agua y los nutrientes pueden ser absorbidos. Así la acidez del subsuelo puede causar severas reducciones en la producción de cosechas bajo condiciones de sequía.

Las limitaciones en el crecimiento de la raíz en muchos subsuelos ácidos pueden también ser mitigados por una adecuada fertilización de fosfato. El fósforo tomado es translocado a las raíces en el subsuelo donde reduce la toxicidad del Al por precipitación en la superficie de la raíz.

En muchos suelos neutros ricos en desgaste de minerales, la acidificación es rápida (cerca de 10 Kg/ha.año ) y está principalmente asociada con la deprotonación de  $H_2CO_3$ .

En los suelos ácidos, la acidificación es menor, alrededor de 2Kg/ha.año, resultante de la asimilación de cationes y deprotonación de ácidos orgánicos.

#### 1.1.6.- Poder amortiguador del suelo.

El pH del suelo no es fijo, es susceptible de cambiarse, de modificarse, mediante el empleo de sustancias que pueden aumentar o disminuir su valor. Sin embargo, no todos los suelos pueden cambiar su pH con la misma facilidad.

Se llama poder amortiguador o regulador del suelo a la propiedad que tiene de resistir a variar el pH. La causa de esta resistencia se debe a que en el suelo existen sustancias capaces de frenar el cambio de pH, actuando como amortiguadores. Estos son la arcilla y el humus que en su forma de complejo, tiene el poder de retener más o menos intensamente los iones  $H^+$ .

Esta concentración de  $H^+$  retenidos con más intensidad que la de iones absorbidos de la solución del suelo, se puede decir que es una concentración en "reserva" y se llama acidez potencial del suelo.

La importancia del poder amortiguador es evidente, ya que permite como consecuencia conocer la cantidad de enmiendas que han de hacerse a un suelo para producir una determinada variación del pH. Las enmiendas son aquellas prácticas agrícolas realizadas para cambiar la reacción del suelo, según

convenga al cultivo o como mejorante del propio suelo. Pueden ser ácidas o alcalinas, según se desee transformar el pH.

1.1.7.- Efectos de la acidez sobre el crecimiento de las plantas.

1.1.7.1.- Efectos del  $H^+$ .

Muchos suelos contienen cantidades totales suficientes de elementos esenciales para sostener un adecuado crecimiento de las cosechas, pero los problemas nutricionales aumentan como un resultado de la desorción/solubilidad/disponibilidad. La disponibilidad debe referirse a aquellas categorías de nutrientes en suelos que un sistema particular de raíz es capaz de extraer en un tiempo dado.

Un nutriente puede estar soluble en la solución del suelo a adecuados niveles para la nutrición de la planta, pero puede no estar disponible porque los efectos de otros elementos pueden prevenirlo de ser asimilado por las raíces. Los efectos de la acidez en nutrientes esenciales del suelo son más propiamente reflejados por la solución del suelo debido a que es en este medio en que todas las reacciones tienen lugar. A menos que los

nutrientes pasen a través de la fase de solución, es improbable que ellos puedan ser absorbidos por la raíz. Los niveles de muchos de los elementos esenciales y tóxicos en los suelos están determinados por la desorción o las solubilidades de una u otra fase sólida y los cambios en la acidez causan marcados cambios en el equilibrio. Las concentraciones de la solución del suelo también son gobernadas por transformaciones orgánicas que son apropiadamente menos reflejadas en la composición de equilibrio de la solución del suelo a causa de la naturaleza efímera de esas reacciones.

La acidez del suelo es de suprema importancia en la determinación de la cantidad de nutrientes en la solución y por tanto en la disponibilidad de elementos esenciales en el suelo.

La amplia escala de valores de pH hallados en suelos naturales es reflejada en variaciones en la vegetación o cosechas que ellos pueden soportar. No está claro como estas diferencias son debidas a la sensibilidad de las raíces de las plantas al  $H^+$  o  $OH^-$  en los suelos o en la solución del suelo, y como los efectos secundarios intervienen. Por ejemplo, para plantas no-leguminosas en una solución de cultivo con pH entre 3 y 9, parece que el crecimiento y función de la raíz pueden estar directamente afectados a pH 5 y por debajo dependiendo de las especies. Los efectos dañinos a pH 4 - 5 pueden ser

compensados por calcio adicional pero no a pH 3. Entre pH 5 y pH 8 el crecimiento es satisfactorio, pero a pH 9, pueden haber efectos directos de  $\text{OH}^-$  o  $\text{HCO}_3^-$  en la absorción de fosfato y molibdato.

#### 1.1.7.2.- Efectos del Aluminio.

##### 1.1.7.2.1.- Efectos beneficiosos.

Aunque el aluminio no es un elemento esencial, parece que bajas concentraciones de Al estimulan el crecimiento de algunas plantas, por ejemplo: Lucerne y trébol rojo (7uM), *Lolium perenne* y otras hierbas (186uM), maíz (18uM), Té y *Pinus radiata* pueden acumular sin daño en las partes aéreas varios centenares mg de Al/Kg materia seca.

Los mecanismos no son claros, pero son casi ciertamente indirectos.

##### 1.1.7.2.2.- Síntomas de toxicidad de Al.

La toxicidad de una particular concentración de Al en la solución parece ser reducida considerablemente cuando el Al está complejado por compuestos orgánicos. El nivel de Al extraíble o soluble que puede ser esperado para un particular nivel de pH también puede ser modificado por la presencia de fase sólida, complejos orgánicos de Al (Bloon et al.1979). Un juicioso manejo de los niveles de materia orgánica de suelos ácidos, suelos altamente maduros, es recomendado para el mantenimiento de la CEC y la acrecentada disponibilidad de fósforo. El efecto del encalado en la estabilidad de los complejos orgánicos-Al solubles e insolubles aún necesitan ser investigados.

A pesar de que el carácter esencial del Al<sup>3+</sup> para la mayoría de los vegetales no ha sido demostrado, existe un gran número de trabajos sobre este elemento y principalmente sobre su toxicidad, debido a las importantes áreas afectadas por este fenómeno.

El exceso de aluminio determina una disminución del crecimiento de la mayoría de las especies vegetales, en las cuales se atrofian las raíces, se espesan, se enrollan sobre sí mismas y adquieren un aspecto colaroides (Ahmad 1960). En caso de toxicidad aguda, la atrofia de las partes aéreas está asociada a la aparición de una coloración violácea en las hojas

más viejas que puede sugerir una carencia de fósforo, a este cambio de color puede seguir una desecación del extremo de las hojas. Estos cambios van acompañados muy a menudo de indicios de mal nutrición (nitrógeno, magnesio, calcio, fósforo), atribuible al mal desarrollo del sistema radicular que absorbe un volumen de suelo pequeño. El pH (en KCl) del suelo constituye un buen indicador de toxicidad de  $Al^{3+}$ : para valores inferiores a 4.8, es posible encontrar aluminio de intercambio (extractable mediante una solución de KCl N). El umbral de toxicidad se sitúa hacia 500 mg de Al de intercambio por kilogramo de tierra, en los suelos ricos en materia orgánica, ya que los complejos solubles Al-materia orgánica son poco utilizables por los vegetales (Lefevre-Drouet 1976). El diagnóstico foliar revela mal la intoxicación aluminica, pues el metal aparece bloqueado a nivel de las raíces. El exceso de Al provoca además de un trastorno del metabolismo del fósforo deformaciones características del meristemo de las raíces. El aluminio tomado por las plantas tiende a acumularse en las raíces y no es fácilmente translocado al retoño y mucho del Al parece ser retenido en las paredes de la célula de la raíz. Una mayor tolerancia de las plantas parece estar asociada a la menor absorción de Al, y menor translocación en la superficie. Niveles tóxicos de Al en las plantas causan muchos cambios



fisiológicos y químicos que parecen estar vinculados a los aumentos en la viscosidad del protoplasma en las células de la raíz y disminución en la permeabilidad de las membranas de la raíz para iones y agua. Estos efectos pueden ser debidos a una vinculación cruzada de moléculas de proteínas adyacentes, como resultado de la polivalencia del Al, aunque otros iones trivalentes no siempre producen un efecto similar. El Al también interfiere con la división de la célula, respiración, metabolismo del nitrógeno y fosforilación de glucosa. Estos efectos a menudo ocurren a lo largo del sitio de cambio en la absorción del fosfato, Ca, Mg y Fe. El principal método para combatir el exceso de Al es el encalado, que provoca la precipitación del metal en forma de hidróxido. Debido a las extensas áreas afectadas por la intoxicación aluminica, actualmente se desarrolla un método de lucha biológica basado en la selección de especies o variedades resistentes al metal.

Muchas plantas son muy sensibles al Al en solución. Experimentos con solución muestran que las especies y variedades de plantas varían en su sensibilidad y que la concentración crítica para una planta dada varía dependiendo del pH de la solución, la concentración de calcio y la técnica experimental. Así no es posible dar un valor exacto, pero los niveles críticos parecen variar entre cerca de 1mM para las

plantas tolerantes y alrededor de 1uM para las plantas sensibles.

La actividad del Al en la solución del suelo no es fácil de medir, los efectos de la acidez son usualmente discutidos en término de pH o Al cambiabile. Posiblemente el mayor índice de actividad del Al en la solución del suelo es la saturación en Al de CEC medido en el pH del suelo ya que este toma en cuenta variaciones en CEC entre los suelos.

#### 1.1.7.2.3.- Interacción del fosfato y el aluminio.

Algunos efectos directos del aluminio en el metabolismo de las plantas ya han sido mencionados, pero el Al también fija el fosfato en la superficie de la raíz, paredes de la célula y en el espacio libre de las raíces de las plantas, evitando así su disponibilidad para el metabolismo de la raíz. Cantidades crecientes de Al cambiabile pueden por tanto conducir a cantidades mayores de fosfato inactivado en la superficie de la raíz, conduciendo así a deficiencias de fosfato. Esto ayuda a explicar porqué síntomas de toxicidad de Al pueden ser muy similares a deficiencias de fosfato. El crecimiento de la raíz

es limitado por el Al, directamente por su efecto en el metabolismo o indirectamente a causa de falta de fosfato disponible. Como el fosfato es relativamente inmóvil en el suelo y su absorción está relacionada a la longitud de la raíz, puede resultar una absorción reducida.

A menudo se ha pensado que, como el encalado aumenta la absorción de fosfato por las plantas, la disponibilidad de fosfato en el suelo también aumenta. Si la absorción es la medida de la disponibilidad entonces es correcto, pero ello no significa que el estado químico del fosfato en el suelo aumenta o que la difusión de fosfato en la raíz se facilita. Se sugiere que los cambios son generalmente pequeños y variables.

#### 1.1.8.- Macronutrientes.

##### 1.1.8.1.- Calcio.

La concentración de calcio en el peso seco de las plantas puede variar sobre la amplia escala de alrededor de 0.1 a 2.5% de peso seco, pero como tiene una baja movilidad y no puede ser prontamente redistribuido desde las hojas viejas a las nuevas,

las altas concentraciones son probablemente mayor que los requerimientos metabólicos. El calcio es esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el propio crecimiento y funcionamiento del extremo de la raíz. Juega un papel importante en el mantenimiento de la membrana, protegiéndola contra los fluidos y con las raíces, en particular, contra el desequilibrio de iones, bajo pH, e iones tóxicos tal como el aluminio.

Aunque la toxicidad del aluminio es el mayor problema en suelos ácidos, el calcio y el magnesio cambiables están a menudo presentes en muy pequeñas cantidades y pueden ser deficientes.

Si el suelo está saturado de calcio se produce el bloqueo del hierro y del fósforo asimilable, por formarse compuestos insolubles por precipitación, así como también del boro, del cinc y del cobre. También se bloquea el anión fosfórico de enlace negativo, con el  $\text{Ca}^{2+}$  formando un enlace de difícil intercambio cuando el  $\text{Ca}^{2+}$  es muy abundante y no existe humus de enlace también negativo para intercambiar. El exceso de  $\text{Ca}^{2+}$  provoca un antagonismo en el complejo eléctrico con otros cationes de cierta afinidad, como el magnesio y el potasio, de tal forma que el equilibrio catiónico  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+} / \text{K}^+$  debe oscilar entre 8 y 20, para asegurar la asimilabilidad de estos

elementos.

Si el suelo está desaturado de calcio el complejo coloidal tiene los enlaces negativos ocupados, generalmente por hidrógeno, lo que da un marcado carácter ácido al que puede coadyudar la presencia de  $\text{Al}^{3+}$ . En estas condiciones los suelos pueden presentar deficiencias en magnesio y molibdeno y si la ausencia de  $\text{Ca}^{2+}$  es casi total, incluso de fósforo, potasio, azufre y del mismo calcio. En estas condiciones, la disponibilidad del hierro es muy elevada, al igual que la del manganeso y del cobre que, junto con la presencia de aluminio, pueden llegar a resultar tóxicos.

Al considerar el calcio como elemento nutritivo se hace relación a los efectos secundarios que produce sobre los otros elementos, más que como nutriente. Como nutriente las necesidades de calcio oscilan entre 10 y 120 Kg por Ha y año; en todos los suelos excepto en los muy ácidos, las cantidades de calcio entre niveles de 200 a 500 ppm son suficientes para asegurar una buena nutrición cálcica incluso en suelos lixiviados ácidos (Cobertera 1986).

En los medios naturales, las especies calcífugas (*Castanea vulgaris*, *Ulex europeus*, *Festuca rubra*, *Dactylis glomerata*, *Poa trivialis*, *Bromus erectus*, *Lotus corniculatus* etc.) se adaptan bien a los niveles muy bajos de  $\text{Ca}^{++}$ . En los suelos

cultivados las enmiendas calizas corrigen perfectamente y a bajos costos las deficiencias en  $\text{Ca}^{++}$ .

En los medios saturados de  $\text{Ca}^{++}$ , las especies calcícolas (*Trifolium incarnatum*, *Medicago eupulina*, *Cytisus laburmun*, *Fumaria officinalis*, *Alyssum campestre* etc.) se adaptan sin problemas gracias a su pequeñas necesidades en hierro y fósforo.

#### 1.1.8.2.- Magnesio.

El magnesio liberado de los minerales primarios o en forma carbonatada, toma dos caminos: La disolución, con la consiguiente absorción radicular o lavado del excedente, y la absorción de las arcillas del tipo 2:1 (intercambio catiónico).

En climas templados los suelos con suficiente arcilla o humus con enlaces negativos permiten la adsorción del  $\text{Mg}^{2+}$  (y del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ) en el complejo, dando al suelo una cierta basicidad en función de las características climáticas, de las que dependen las de la vegetación y las de la materia orgánica. En suelos sin coloides negativos y, sobre todo, con clima húmedo, el  $\text{Mg}^{++}$  es lixiviado al no ser retenido eléctricamente. En este caso se producen deficiencias en la nutrición vegetal. En

términos generales se considera que en suelos arenosos a francos las carencias de  $Mg^{++}$  están en torno a 100 y 180 ppm y en suelos arcillosos 200 a 400 ppm (estas cifras dependen del método de extracción).

La roca caliza dolomítica y los silicatos de magnesio son rápidamente solubles bajo condiciones ácidas y rara vez se pueden encontrar problemas de solubilidad a bajos valores de pH. Habiéndose disuelto, el Mg entra en los sitios de cambio y algunos iones pueden quedar en la solución. Cuando el pH baja, menos magnesio es absorbido en forma cambiante debido a la reducción en la carga variable y está más presente en la solución disponible por pérdida por lixiviación. El magnesio es un pobre competidor con Al y Ca por los sitios de cambio y se pierde a menudo de la superficie del suelo como resultado de la acidificación o aplicación de grandes cantidades de Ca soluble.

#### 1.1.8.3.- Potasio.

El contenido de potasio en las plantas es similar al nitrógeno y es el catión celular más abundante. El potasio tiene diferentes papeles fisiológicos y químicos, por ejemplo,

en la síntesis de proteínas. Es requerido en grandes cantidades para activar muchas enzimas y para neutralizar aniones y grupos aniónicos de macromoléculas, contribuyendo al potencial osmótico. Aumentando la acidez resulta una disminución de CEC que podría reducir la capacidad del suelo para retener potasio.

Excesivas cantidades de Ca y Mg pueden crear desequilibrios con respecto al potasio, conduciendo a problemas de disponibilidad y absorción.

La valoración de este elemento está encaminada, de forma principal, a conocer la disponibilidad del potasio como nutriente de los vegetales mas que definir las características del complejo absorbente, ya que las cantidades de potasio influyen muy poco en el grado de saturación.

#### 1.1.8.4.- Nitrógeno.

La acidez, además de influir en las especies, número y actividades de microorganismos, regula la proporción de la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto reduce el número de moléculas orgánicas disponibles para una nueva descomposición para dar N y otros elementos constituyentes (P,



S, etc) solubles (Alexander 1980). Así bajo condiciones muy ácidas la materia orgánica acumulada da origen a un enorme almacén de nutrientes que pueden ser explotados por enclado. La transformación de N orgánico hasta la formación de nitrato genera acidez que últimamente puede conducir a la nitrificación, debido a la inhabilidad de los organismos nitrificantes para realizar su papel bajo tal condición. La nitrificación es marcadamente reducida bajo pH 6 y es indecible bajo pH 4.5 (Alexander y Martín 1984). Por otra parte, las reacciones de amonificación son insensibles a la acidez sobre la escala de pH hallados en muchos suelos agrícolas. Así el efecto de la acidez en el estado soluble del nitrógeno de muchos suelos agrícolas es limitada para la nitrificación lo cual significa que para cosechas que son indiferentes a la fuente de nitrógeno (pueden usar  $\text{NH}_4^+ -\text{N}$  o  $\text{NO}_3^- -\text{N}$ ) la acidez juega un pequeño papel en la determinación de la disponibilidad de N. Para las cosechas sensibles (incapaz de usar  $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ ) la acidificación puede resultar en una limitada absorción de N o aún en la toxicidad de  $\text{NH}_4^+$ .

En adición a los efectos directos de las transformaciones de N en los suelos, la acidez tiene un nocivo efecto en la relación simbiótica entre rizobios y leguminosa. Generalmente en suelos con valores de pH bajo 6, resulta una pobre

nodulación y fijación de N, aunque siempre que el Mo y Ca sean adecuadamente suministrados, la mayor acidez puede ser tolerada (Andrew 1978, Munns 1978).

#### 1.1.8.5.- Fósforo.

El fósforo asimilable, juntamente con el potasio, el nitrógeno y el calcio, es el elemento más extraído por los vegetales. En suelos de pH entre 5 y 6 parte del fósforo asimilable está en forma de fosfato de hierro y aluminio. A pH neutro, sin embargo, dichos fosfatos precipitan por lo que el fósforo asimilable procede de los fosfatos de calcio solubles en agua o ácidos débiles. Si el suelo presenta un pH superior a 7.5 los fosfatos cálcicos pasan progresivamente a tricálcicos (apatito), aumentando dichos fosfatos insolubles a medida que lo hace el pH, con lo que las fuentes de fósforo asimilable son muy precarias, reduciéndose a las orgánicas.

#### 1.1.8.6.- Azufre.

El azufre, elemento mayoritario e indispensable para el

crecimiento de los vegetales, está presente en todos los suelos en cantidades variables.

Existe una relación entre carbono, nitrógeno y azufre totales de los suelos, del orden de 100/10/1 con, no obstante, variaciones notables en función del pH (Simon-Silvestre 1962).

El azufre del suelo se encuentra en las formas mineral y orgánica: a excepción de algunos suelos áridos, la mayor parte del azufre (75 al 95 %) está incorporado en las condiciones orgánicas. Este azufre orgánico sufre el ataque de diversos microorganismos, que provocan su degradación con formación de sulfuros de hidrógeno, oxidado rápidamente en azufre y participan en la síntesis de compuestos orgánicos.

En los suelos ácidos altamente desgastados,  $\text{SO}_4^{2-}$  es absorbido por los sesquióxidos de la superficie (Chang y Thomas 1.963), precipitando como un  $\text{Al-OH-SO}_4$  un tipo de mineral como aluminita (Adams y Rawaffith) y/o mantenido como un simple anión cambiante en sitios cargados positivamente (AEC) en sesquióxidos bajo condiciones ácidas.

Una concentración de azufre total del suelo no significa necesariamente un buen aprovisionamiento de sulfato en los cultivos. La mineralización del azufre puede ser baja por diferentes motivos: pobreza de materia orgánica en los suelos, pH ácido, materia orgánica recubierta de caliza (rendsinas).

El azufre solo es asimilable e intercambiable en forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Después de una serie de reacciones a partir de la materia orgánica y por acción de microorganismos se transforma en  $\text{SO}_4^{2-}$  el cual pasa a los vegetales por absorción y el resto puede ser lavado.

#### 1.1.9.- Oligoelementos indispensables para la vida de las plantas.

Además de los elementos mayoritarios, varios elementos, como Mn, Cu, Fe, Zn, B y Mo son indispensables para la vida de las plantas. Los tejidos vegetales solo los contienen en proporciones mínimas, entre algunas ppm y algunas milésimas de peso seco de manera que las necesidades de las plantas están satisfechas. Sin embargo, en ciertos casos, la nutrición puede ser insuficiente. Algunos microelementos ( así como otros aniones y cationes extraídos por la planta sin utilidad para su metabolismo) pueden llegar a ser tóxicos si son absorbidos en demasiada cantidad.

Al igual que los elementos mayoritarios, los oligoelementos se encuentran en el suelo en diferentes formas: reserva inalterada, forma movilizable, forma de intercambio y forma

insoluble.

#### 1.1.9.1.- Manganeseo.

La mayor parte del manganeseo de los suelos se halla en forma de óxidos manganésicos trivalentes o tetravalentes, mientras que una pequeña fracción se encuentra en estado soluble (divalente) o en estado de intercambio. La carencia puede aparecer en los suelos pobres en Mn insoluble, con un pH neutro o alcalino, o si las partículas minerales están envueltas con humus estable.

Los síntomas de toxicidad por el manganeseo se caracterizan por la aparición de manchas y estrías negruzcas que se desarrollan sobre todo a lo largo de los tejidos conductores (tallos, pecíolos, nerviaciones principales). Estas manchas están constituidas por acumulaciones de compuestos manganésicos (dióxidos o compuestos organo-metálicos)(Fort 1970).

Contrariamente a la mayoría de los metales tóxicos, el manganeseo penetra con facilidad en las partes aéreas de los vegetales, lo que facilita el diagnóstico de toxicidad. La toxicidad es altamente probable en un suelo ácido cuando la concentración en Mn reducible excede 100mg/Kg de tierra

(Bittel, 1957; Coppenet et al, 1960).

Es importante un adecuado suministro de calcio para compensar los excesos de manganeso porque la translocación de calcio es inhibida por Mn. Así el encalado puede no solo reducir el nivel de manganeso cambiante en los suelos y su absorción, puede también aumentar la absorción de calcio; los efectos combinados eliminan la toxicidad del manganeso.

La disponibilidad del manganeso para las plantas es también función de las condiciones de óxido-reducción y de hidratación del medio. Solo las formas más reducidas de manganeso ( $Mn^{++}$  y  $Mn^{+++}$ ) son fácilmente accesibles a los vegetales.

#### 1.1.9.2.- Hierro.

El hierro está presente en todos los suelos, gracias a ser abundante en toda la corteza terrestre y a su buena movilidad favorecida por los ciclos de oxidación-reducción. Considerando al  $Fe^{++}$  como un elemento nutritivo fundamental para la alimentación vegetal, existen una serie de peculiaridades que lo hacen muy específico y que sea deficiente en los suelos con pH, al agua superior a 6.0 o 6.5. Estas peculiaridades o condiciones se centran en su doble forma  $Fe^{++}$  reducida y  $Fe^{+++}$

oxidada, y en la solubilidad de la primera e insolubilidad de la segunda, es decir, en el aprovechamiento del  $Fe^{++}$  por las plantas y en los procesos de intercambio, y en el bloqueo de las formas  $Fe^{+++}$ .

Los factores que aumentan el potencial de oxidación, es decir, la insolubilización del hierro son: el aumento del pH y la mayor aireación (oxigenación).

La solubilidad del hierro en los suelos sigue un patrón similar al del manganeso, aunque el efecto redox es mucho menor y sobre todo la solubilidad del  $Fe^{+++}$  es mucho menor que la del  $Mn^{++}$ . Pocos problemas de toxicidad pueden ser encontrados en suelos con valores de pH + p.e sobre 16. A causa de la muy baja solubilidad del hierro aún bajo condiciones muy ácidas las reacciones redox son probablemente de gran importancia en la solubilización suficiente del hierro en la rizosfera para las necesidades de la cosecha.

No se encuentran en las condiciones de cultivo del suelo, verdaderas carencias primarias del hierro. El exceso de metales pesados puede inducirlos, pero es la presencia de caliza en elevado porcentaje el origen de la "clorosis calcárea" o "clorosis férricas" que es, de hecho, una verdadera deficiencia férrica del vegetal.

Ni los aportes de hierro al suelo, a pesar de la aparición de

quelatos en el mercado, ni las pulverizaciones foliares dan resultados perdurables en el tratamiento de las carencias: se vuelve hacia la utilización de especies o de portainjertos resistentes a la caliza.

#### 1.1.9.3.- Cinc.

En la corteza terrestre el cinc se encuentra sobre todo en forma de sulfuro o blenda. La actividad del cinc aumenta rápidamente con la disminución del valor del pH, lo cual significa que los problemas nutricionales de cinc rara vez se encuentran en suelos con valores de pH menor de 5.5. Cuando el pH de la capa arada es superior a 6, la nutrición en cinc de ciertos vegetales puede hacerse insuficiente, en especial si además hay una elevada concentración de fosfato. Se han observado problemas causados por exceso de cinc en cultivos de suelos ácidos anteriormente ocupados por plantaciones de melocotoneros tratados con sales de cinc (Lee et al., 1.969), la adición de cal hace desaparecer los síntomas de intoxicación (crecimiento defectuoso y clorosis férrica). El cinc es transportado con bastante facilidad hacia las partes aéreas de los vegetales: algunas especies resistentes, que colonizan los



campos situados en la proximidad de fábrica de extracción de minerales de cinc, pueden acumular enormes cantidades de este metal (Petit, 1974).

#### 1.1.9.4.- Cobre.

En el suelo ácido el cobre ocurre como  $\text{Cu}^{++}$  en equilibrio con  $\text{Cu}$ -suelo. El incremento del pH es desfavorable a la solubilidad de las sales de cobre pero es principalmente en los suelos pobres de  $\text{Cu}$  total, formados a partir de granulitas, granitos con moscovita, limos y areniscas, donde se encuentran carencias. El cobre está complejado fuertemente con la materia orgánica con el resultado que gran parte del cobre en la superficie está orgánicamente retenido tanto en los complejos solubles e insolubles. Bajo condiciones ácidas en suelos no orgánicos, el  $\text{Cu}$  rara vez presenta problema nutricional. Las cantidades de  $\text{Cu}$  asimilables en los suelos son muy bajas, no sobrepasando 1ppm en la mayoría de los casos. Las plantas perennes, cuyos sistemas radicales están situados a gran profundidad, no se ven afectadas por la acumulación de  $\text{Cu}$ , que permanece retenido en la superficie. Por el contrario, los

cultivos anuales o las plantaciones jóvenes exteriorizan muy rápidamente los síntomas de toxicidad: crecimiento irregular, atrofia del sistema radical, disminución del desarrollo (Delas y Juste, 1.975), acompañados a veces de enrojecimiento y necrosis. Los síntomas de toxicidad se manifiestan para pH inferiores a 6.

#### 1.1.9.5.- Boro.

En la escala de pH de suelos ácidos, el boro se halla en la solución como una molécula no cargada de  $H_2BO_3$  y es fuertemente absorbida por suelos que contienen sesquióxidos, materia orgánica y Al soluble cuando el pH aumenta. La disponibilidad en los suelos puede aumentar con la disminución del pH. La fracción soluble en agua, siempre muy pequeña, no depende de la concentración en boro del suelo, sino de la cantidad de materia orgánica y del pH (Maaurice, 1.977). La carencia de boro es muy frecuente, en especies vegetales diferentes y con síntomas muy diversificados. Se manifiesta cuando, para un pH próximo a 6, el suelo contiene menos de 0.3ppm de boro soluble en agua

hirviendo (relación: tierra/agua 1:2). Como ejemplos de plantas sensibles al B están las crucíferas bulbosas, la remolacha, alfalfa, vid, los frutales de pepita y, en las especies tropicales, algunas crucíferas. Los valores de boro asimilable aceptables se pueden estimar en torno a 0.5-1 ppm, debiendo considerar la relación con el calcio, debido a que la deficiencia en boro puede provocar una deficiencia cálcica, aún en suelos calcáreos.

#### 1.1.9.6.- Molibdeno.

El problema de la disponibilidad del Mo para el crecimiento de las plantas en suelos ácidos se debe a su condición de elemento traza (usualmente < 5 ppm sobre análisis total) y que es altamente insoluble en los suelos ácidos.

En el campo agrícola, se puede considerar que un suelo es pobre en Mo si la fracción extraída mediante oxalato de amonio a pH 3.3 es inferior a 0.15 ppm (Duval y Maurice, 1.970), pero en el campo forestal no se conocen estos umbrales. Muy a menudo su disponibilidad es asegurada simplemente por encalado, aunque algunas veces el Mo debe ser adicionado para rectificar las deficiencias.

#### 1.1.9.7.- Tolerancia a la acidez: Diferencias entre especies y variedades.

Las especies difieren en su tolerancia a la acidez y al exceso de Al, las diferencias entre las variedades también son importantes. Las siguientes razones han sido sugeridas para estas diferencias en la tolerancia:

a.- Diferencias en la morfología de la raíz: las raíces de algunas especies no son aparentemente dañadas en condiciones ácidas.

b.-Algunas especies y variedades tolerantes al Al tienen la capacidad de para incrementar el pH de la zona de la raíz (rizosfera).

c.- La translocación del Al de las raíces a los retoños es reducida en algunas plantas tolerantes, mientras que en otras, notablemente el té, la tolerancia es asociada con acumulación en los retoños.

d.- El Al en las raíces de las plantas tolerantes no inhibe

la absorción y translocación de Ca y Mg.

Una comparación entre dos variedades de trigo de Brazil mostró un mecanismo de tolerancia para excluir Al de las raíces. La variedad tolerante, con una mayor longitud de la raíz, tuvo un flujo de Al 10 veces mas pequeño que una sensible. La remolacha y la patata, por ejemplo, ambas tienen una demanda apreciable de Ca pero las patatas tienen mucho mayor tolerancia al Al que la remolacha; mientras que la remolacha es mas tolerante al Mn. Similarmente la cebada es parecida a la remolacha en que es sensible al Al y relativamente tolerante al Mn, pero a muy baja demanda de calcio. La avena tiene una demanda baja de Ca y es tolerante tanto al Al como al Mn. *Trifolium repens* es un interesante ejemplo de todo esto, en la diferencia de variedades. El clavel blanco indígena en suelos ácidos en Gales es típicamente calcífugo, mientras que en suelos calcáreos de Hampshire son calcícolas.

Diferencias entre especies de plantas en su tolerancia a la acidez se pueden apreciar en prados donde muchas especies de plantas crecen juntas en competición unas con otras. Las plantas que toleran la acidez un poco mejor que su vecina pueden extenderse a su expensa y vienen a dominar la vegetación

de los suelos ácidos. Aunque no necesariamente crecen mejor en suelos ácidos en ausencia de competición.

## 1.2. Objetivos del trabajo.

El objetivo fundamental del presente trabajo es conocer la respuesta del ojaranzo (*Rhododendron ponticum* L.) a los suelos ácidos.

Este estudio se ha realizado en las Sierras del Campo de Gibraltar, una región de suelos ácidos sobre areniscas, eligiendo 12 puntos de muestreo donde se tomaron muestras de hojas de *Rhododendron ponticum* para su análisis morfológico y de contenido en nutrientes, que se relacionan con las características del suelo en cada sitio.

## 2.- AREA DE ESTUDIO.

La provincia de Cádiz se encuentra situada entre los meridianos 5º 5' y 6º 26" de longitud Oeste y los paralelos 36º y 37º 2' de latitud Norte. Su extensión es de 7.385 Km<sup>2</sup>.

Aunque no delimitadas netamente por accidentes geográficos pueden distinguirse en la provincia de Cadiz un cierto número de comarcas o regiones naturales, diferentes por las condiciones geográficas, de orografía, geología, suelo y vegetación. Estas regiones naturales son: La Serranía de Grazalema, las Sierras Subbéticas del Norte, las Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar, La Campiña y las Costas.

Debido a que el trabajo de campo se realizó en la región de las Sierras y colinas del Campo de Gibraltar nuestra atención se centrará en esta zona.

### 2.1.- Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar.

Esta región es extensa, se encuentra formada por la comarca comprendida entre el borde Sur de la Serranía de Grazalema y la zona de la costa entre el Barbate y el Guadiaro, y desde la depresión del Barbate-Majaceite al Oeste, hasta el límite

provincial al Este. Ocupa parte de los términos municipales de Ubrique, Jerez de la Frontera, Alcalá de los Gazules, Medina Sidonia, Tarifa, Los Barrios, Catellar y Jimena de la Frontera.

Esta región está integrada por un conjunto de sierras formadas por areniscas silíceas y de colinas margosas; son las principales, la del Aljibe, (1.092m, en el pico de este nombre), las Sierras Blanquilla, de la Luna, de Enmedio, de Fates, de Salada Vieja y otras. En la parte sur se encuentra el conjunto de colinas, entre las que destacan los Cerros Mediana, del Bujeo, de la Torre etc. Al Este, próximas al límite provincial, se encuentran Sierra Morenilla, Casas Caidas etc.

También son típicos de la comarca un gran número de valles alargados o "canutos", como el Canuto Largo, Charco del Fraile y otros, en los que existen con frecuencia suelos calizos margosos, muy semejantes a los que ocupan las colinas próximas, y muy diferentes a las tierras pardas sobre areniscas que dominan en las montañas de esta comarca.

#### 2.1.1.- Datos geológicos.

Rasgos característicos de esta región son la interrupción brusca del macizo bético a la altura de Guacín y Casares



(Málaga), la aparición del basamento paleozoico y estrato cristalino.

Las montañas terciarias del Campo de Gibraltar, están formadas por las areniscas oligocenas del Aljibe (las montañas del Campo de Gibraltar pertenecen al dominio de las llamadas Sierras del Aljibe).

Litológicamente las sierras del Campo de Gibraltar están constituidas por areniscas oligocenas del Aljibe, siendo el Pico del Aljibe (902m) la mayor elevación que se presenta en la zona formada por dicho material sedimentario. Se trata de una roca constituida por pequeños granos de cuarzo, a veces sin ningún cemento arcilloso o calizo, de color predominantemente amarillo parduzco, a veces rojizo o completamente blanco.

Al Este de los terrenos formados por las areniscas del Aljibe y separadas de ellas por la depresión del Guadiaro, se encuentran las colinas margosas del Eoceno. El Flish eoceno de esta región debió estar en otras épocas cubierto por capas de areniscas ahora desaparecidas de la región y de las que solo quedan algunos islotes dispersos (sierra Almenara, Guijo Alto, Sierra del Arco, el Zabal, etc).

Junto a la arenisca oligocena se encuentran en los valles y depresiones del Aljibe algunas margas y calizas eocenas, más abundantes en la pequeña zona de colinas cercana al límite

provincial con Málaga, que constituyen la cuenca de los ríos Hozgarganta y Guadiaro. Al Este de la depresión del Barbate-Majaceite faltan los terrenos miocenos, mientras que el Plioceno está representado por las areniscas calizas del bajo valle del Guadarranque, en la mayoría de la costa.

Según la historia geológica de la Región del Campo de Gibraltar, al final de la época nummulítica, se produjo el segundo plegamiento de esta región, mientras que la parte situada al Este de la depresión Barbate-Majaceite sufrió tan solo un hundimiento en masa, según parece deducirse de las concordancias existentes entre las areniscas del Eoceno y las capas de areniscas oligocenas.

#### 2.1.2.- Clima.

De la situación de esta zona se deriva una elevada insolación y temperaturas suaves. La proximidad de los mares Mediterráneo y Atlántico contribuyen a que las temperaturas se caractericen por la suavidad y regularidad.

El relieve es un factor de primordial importancia; por su orientación Norte-Sur constituye el primer obstáculo que encuentran los vientos de Poniente o Levante, al tener que

remontar las serranías, se enfrian y condensan dando lugar a nieblas y precipitaciones más abundantes a medida que la altitud va siendo mayor, las temperaturas al contrario, disminuyen en función de la altitud.

Las masas de aire procedentes del Anticiclón de las Azores producen buen tiempo, seco y caluroso en verano, suave en invierno, a veces provocan nubes y nieblas en zonas costeras y sobre las cumbres; las que proceden del Norte de Africa dan lugar a un tiempo cálido y seco. Cuando a veces soplan vientos procedentes de un anticiclón europeo el tiempo es seco y más fresco.

Es más ocasional el aire de las latitudes medias-altas del Atlántico, que puede arrastrar depresiones y originar lluvias.

El frío no es excesivo, pues el aire sufre un calentamiento por efecto Fohën al bajar desde las montañas del Norte.

## 2.2.- Suelos de la región de Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar.

La notable variedad que los suelos de la provincia de Cádiz presentan en su génesis y propiedades, se manifiesta también, en lo que se refiere a su contenido en carbonato cálcico y su

reacción (acidez o alcalinidad) medida por su pH. Junto a suelos totalmente desprovistos de caliza, pueden encontrarse otros con más del 50% de este componente. Existen también suelos con moderada proporción de carbonato cálcico. Una gran parte del Sur y Este de la provincia, que alcanza casi la mitad de su extensión, está ocupada por suelos de reacción ácida, con valores de pH comprendidos entre 6 y 7 (tierras pardas) pueden descender a márgenes comprendidos entre 5 y 6. Son muy escasos los suelos más ácidos, con valores de pH inferiores a 5. Esta importante región comprende principalmente la comarca del Campo de Gibraltar que se extiende por el Norte hasta Medina Sidonia, Alcalá de los Gazules y Serranía de Grazalema. Está caracterizada por dos tipos de suelos: la tierra parda forestal sobre areniscas silíceas del Aljibe (es el suelo de las sierras y montañas) y por el Lehm margoso sobre sedimentos calizos del Eoceno ( es el suelo de las colinas). Existen además en esta región suelos de vega aluvial, suelos rojos mediterráneos y tierras pardas caliza. A continuación se describen los principales tipos de suelos.

### 2.2.1.- Tierra parda forestal.

Caracteres generales: son suelos de perfil A(B)C, de color pardo oscuro o pardo rojizo, textura arenosa, estructura grumogranular, relativamente sueltos y permeables. Son suelos neutros o ligeramente ácidos, formados sobre areniscas síliceas.

Distribución: ocupan gran parte de la región situada al Este de la depresión Barbate-Majaceite. Se extienden por los términos de Ubrique, Jerez de la Frontera, Alcalá de los Gazules, Jimena de la Frontera, Medina Sidonia, Los Barrios, Tarifa, Vejer de la Frontera, Algeciras y San Roque. Estas tierras también se encuentran al Oeste de la mencionada depresión, en los términos de Chiclana de la Frontera, Conil y Medina Sidonia.

El área de las tierras pardas forestales coincide prácticamente con la zona formada por las areniscas síliceas del Aljibe, en la que los suelos se encuentran en equilibrio climático y de vegetación sobre dicho material sedimentario. Muestran típicos caracteres topográficos, morfológicos y de composición y vegetación peculiar.

Las tierras pardas forestales ocupan zonas en que las circunstancias tectónicas y estratigráficas, han determinado la

existencia de una serie de alineaciones o sierras paralelas y fraccionadas, cuyas cumbres tienen orientación Norte-Sur en la parte más septentrional, mientras que se dirigen a poniente en el extremo Sur, lo que ocasiona que en la región de las Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar existan situaciones topográficas y microclimas muy variables, por lo cual los suelos presentan condiciones muy diversas de pendiente, humedad, lavado, drenaje, temperatura, vegetación etc.

La morfología de un perfil típico de tierra parda sobre arenisca del Aljibe, responde a un suelo A(B)C. El horizonte A es de unos 20-25 cm, y de color pardo oscuro; es suelto, permeable y contiene trozos de areniscas en mayor o menor grado de descomposición, tiene buena proporción de humus (es muy casi neutro), el cual proviene de la descomposición de hojas de encinas, alcornoque, plantas herbáceas etc. Su carácter es ácido.

El horizonte B muestra un color pardo amarillento a ocre rojizo; es arenolimoso, más compacto que el A, posee buena aireación, permeable, fácilmente penetrable y contiene trozos de roca más o menos alterados, hay descensos en la acidez y materia orgánica.

El horizonte C es la arenisca sílicea de color gris claro, con vetas amarillo-rojizas de óxidos de hierro, coherente,

dura.

En esta región también son relativamente frecuentes perfiles de tierra pardas con horizontes típicos de pseudogley. Existen evidencias de que debieron existir suelos más evolucionados que los actuales, del tipo de lehm pardo; sobre los cuales estudios especiales de geobotánica muestran en distintas localidades de las sierras de Algeciras relictos de vegetación antigua. En general, sin embargo, en el conjunto de suelos sobre areniscas del Aljibe dominan las tierras pardas forestales.

El pH de estos suelos es próximo a 7 de contenido en materia orgánica del 4 a 5%. Aunque de escasa o nula proporción en carbonato cálcico, el complejo de cambio del suelo (arcilla y humus) está prácticamente saturado por iones calcio y magnesio. La fracción arcilla, procede de la contenida en la roca y de nueva formación, en estos suelos se aprecia cierto lavado y emigración de coloides del horizonte A.

Agricultura: sobre estas tierras existen dehesas de alcornoque y encinas; y monte bajo con acebuches y prados, por lo tanto, la región es fundamentalmente ganadera. Existen algunas zonas repobladas de pino, pero manteniéndose el alcornoque, la encina y el prado.

### 2.2.2.- Lehm margoso bético.

Caracteres generales: son suelos de color pardo amarillento o pardo gris oliva, de perfil A(B)C, textura arcillosa o arcillolimososa, calizos y pobres en humus. Son muy pocos permeables, plásticos, difíciles de trabajar y profundos. Están organizados sobre sedimentos o margas del Eoceno y Mioceno bético.

Distribución: es prácticamente el único suelo que ocupa las colinas de las zonas del Campo de Gibraltar. Se extiende por parte de los términos de Jimena de la Frontera, Castellar de la Frontera, San Roque, Los Barrios, Algeciras, Tarifa, Vejer de la Frontera, Medina Sidonia y Alcalá de los Gazules.

Distribución: el Lehm margoso bético presenta una escasa variabilidad que se reduce a mostrar ligera granulometría y pedregosidad, o en propiedades determinadas por las circunstancias topográficas que dan lugar a encharcamientos.

Se pueden distinguir suelos de lehm margoso de textura arcillolimososa formados sobre arcillas y margas ricas en elementos finos. Estos suelos son los más frecuentes de la comarca, prácticamente constituyen la mayoría de las colinas de tierra de "bujeo" así como llanos y zonas de arrastres aluviales (casi permeable y de drenaje deficiente). Son suelos



calizos, pero no contienen elevada cantidad de carbonato cálcico libre; el pH es alcalino y el contenido de materia orgánica es aceptable, debido a que muchos de estos suelos están dedicados a pastos.

Son suelos que resultan con frecuencia extraordinariamente pesados y compactos por su elevado contenido en arcilla, por su baja cantidad de carbonato cálcico, o porque la deforestación, el desmonte o los cultivos han contribuido a impedir el desarrollo de una buena estructura. Están dedicados al cultivo de cereales, dehesas y pastos, o se encuentran cubiertos de monte bajo.

La variedad Lehm margoso con horizonte de pseudogley se encuentra en términos de Tarifa, Vejer de la Frontera y en el de Medina Sidonia en las profundidades de la laguna de la Janda. Son suelos arcillolimosos, de estructura granular o algo grumoso en la capa muy superficial y compacta en la profundidad. Por su situación en zonas bajas y en valles abiertos, y por su impermeabilidad y mal drenaje predomina en todo el perfil condiciones reductoras muy marcadas, por lo que existe solubilización del hierro al estado ferroso.

Agricultura: no son en general suelos cultivables, algunas áreas se dedican a pastos y dehesas mientras otras permiten cultivos de maíz, algodón, leguminosas (garbanzos, habas) y

melones.

### 2.2.3.- Suelos de Vega Aluvial.

Caracteres generales: son suelos de las márgenes y terrazas aluviales de los ríos, constituídos por sedimentos jóvenes poco transformados. El color casi uniforme en todo el perfil es pardo, pardo gris, pardo oscuro o pardo rojizo. La textura suele ser limosa, limoarcillosa o limoarenosa. La estructura es en superficie grumosa, suelta o migajosa, y está muy influenciada por las labores, enmiendas y cultivos del suelo (horizonte Ap); en profundidad es más compacta y normalmente poco desarrollada, pero en general porosa y favorable a los cultivos.

Son suelos de pH ligeramente alcalino, con contenido de carbonato cálcico uniforme en todo el perfil, permeabilidad buena o media y drenaje medio o bueno. Suelen mostrar buena capacidad de retención de agua, mantienen humedad en superficie, y son siempre húmedos y frescos en el subsuelo.

Distribución: estos suelos se encuentran en las márgenes y proximidades de los ríos Guadiaro, Hozgarganta, Guadarrenque, Palmones, Río del Valle, Almodóvar, Celemin, Barbate y otros.

Descripción: los suelos de vega aluvial de los ríos Hozgarganta y Guadiaro son de color pardo rojizo, de estructura grumosa y de textura arenolimosas. La permeabilidad y el drenaje varía desde bueno en los suelos más sueltos y menos pesados, a deficiente o malo en algunos lugares de la vega de San Martín del Tesorillo.

Tienen proporciones variables de materia orgánica que oscilan entre 1 y 3%, cantidades bajas de carbonato cálcico, pH prácticamente neutro.

Agricultura: los cultivos más frecuentes son maíz, algodón, leguminosas, cítricos etc.

Los suelos de vega de los ríos Guadarrenque, Palmones y Río del Valle, son de color pardo, pardo oscuro o pardo gris verdoso. La textura varía desde limosa a arcillo-limosa. La estructura es grumosa en superficie y en algunos suelos (vegas de los ríos Palmones y del Valle) muy compacta en profundidad. La permeabilidad y el drenaje son buenos en la vega del Guadarrenque, medios en la del Palmones y malos en la del Río del Valle.

Son suelos que, en general, tienen cantidades aceptables de materia orgánica, escaso porcentaje de carbonato cálcico y el pH ligeramente alcalino.

Agricultura: algodón, trigo, leguminosas y dehesa de

alcornocales con cereales.

La vega de los ríos Barbate, Almodóvar y otros (afluentes del Barbate) son, en general, de textura arcillo-limosa, estructura grumosa en superficie y muy compacta en profundidad. En las zonas próximas a la laguna de la Janda, debido a la naturaleza margosa de los terrenos colindantes, los sedimentos fluviales son muy finos, presenta una permeabilidad muy pequeña y drenaje malo.

Agricultura: pastos, algunos cereales, leguminosas y cultivos de verano.

#### 2.2.4.- Suelos Rojos Mediterráneos.

Caracteres generales: Suelos de perfil A(B)C o ABC, de color rojo o pardo rojizo, de textura arenosa o renolimosa, estructura grumosa o de partículas sueltas, y generalmente poco profundos. Son pobres en humus, contienen caliza en proporción y origen variables y están formados sobre areniscas calizas.

Distribución: estos suelos se encuentran en el sur de la región, principalmente en los términos de San Roque y Castellar de la Frontera.

Descripción: la textura que domina es la arenosa, que poseen

los suelos vagos de los términos de Castellar de la Frontera y San Roque, formados sobre areniscas del plioceno. Estos suelos presentan normalmente un horizonte A, de color rojizo oscuro, arenoso, y de estructura grumosa; contienen algunos gránulos de caliza y su espesor es de unos 15 o 20cm.

El horizonte (B) de color rojo más claro que el anterior, textura leñosa, estructura grumo-granular y algo compacta, débilmente calizo y no calizo y de unos 30 cm de espesor. Finalmente el horizonte C está formado por areniscas calizas blanco amarillentas, más o menos alteradas.

Existen también suelos rojos arenosos cuyo perfil es poco profundo debido a la erosión. Estos suelos ocupan zonas no muy extensas en el término de San Roque, cerca de Guadiaro. Topográficamente ocupan áreas llanas y relativamente elevadas, ya que en las pendientes muy deforestadas, la erosión ha sido fuerte quedando solo litosuelos o suelos AC rendsiniformes, cuyo perfil evoluciona a suelo pardo calizo en los sitios más favorables (vegetación de matorral; acumulación mecánica por arrastre, lavado más intenso etc).

Agricultura: en los suelos profundos existen dehesas de alcornoques, matorral y pastos. Los suelos mas superficiales están cubiertos de matorral, pastos o eriales.

#### 2.2.5.- Tierra Parda Caliza.

Caracteres generales: en esta denominación se incluyen suelos diversos que poseen el carácter común de hallarse formados sobre margas de colores abigarrados, ricas en yeso. Por la escasez de vegetación y por la gran intensidad de la erosión física, es difícil en estos suelos la separación de horizontes edáficos.

Distribución: existen pequeñas áreas de tierra parda caliza, tales como las de las proximidades de Tarifa, hacia Algeciras; encontrándose sobre calizas tubulares del Eoceno que aparecen en algunos parajes en los que estas rocas forman bancos con inclinación algo pronunciada, que ocupan las partes más altas y accidentadas de algunas colinas.

Son suelos de perfil A(B)C, de fase pendiente y profundidad media que no tienen importancia agrícola porque se encuentran ocupados por monte bajo. Se presentan en zonas accidentadas y forman el relleno de canteras que se explotan para extraer losas de caliza.

Agricultura: monte bajo y orjal.

#### 2.2.6.- Propiedades fisicoquímicas y composición mineralógica de algunas arcillas de suelos de la provincia.

Dos tipos de constituyentes integran la fracción coloidal del suelo: inorgánicos que proceden de la descomposición de las rocas en las que el suelo tiene su origen, y orgánicos, producto de la actividad biológica vegetal y animal. Estos coloides componen respectivamente las arcilla y humus del suelo y representan la fase dispersa de este sistema. El agua y aire del suelo forman la fase dispersante, mientras que las fracciones arena y limo intervienen como soporte especial.

La proporción y naturaleza de las arcillas determinan muchas de las propiedades fisicoquímicas del suelo tales como su capacidad de retención de agua, cambio iónico, formación de complejos mineral-orgánicos, poder amortiguador etc.

Un estudio fisicoquímico y mineralógico de la fracción mineral fina de los suelos de la provincia por determinaciones realizadas por análisis químico, capacidad de cambio de bases y otros estudios muestran que para el conjunto de arcillas el componente fundamental está formado por la asociación Illita-Montmorillonita, junto a estas algunas arcillas contienen principalmente pequeñas cantidades de micas, caolinita, clorita, óxidos de hierro, calcita, cuarzo y otros componentes.

Aunque no existen grandes diferencias entre las arcillas de los distintos suelos de la provincia en cuanto a composición y naturaleza se refiere, se pueden establecer tres grupos principales atendiendo a la frecuencia o abundancia de los elementos fundamentales encontrados:

a.- Arcillas principalmente con illita y montmorillonita, con minerales accesorios como micas, cloritas, óxidos de hierro (limonita) etc. Predominan en xerorendsinas, rendsinas y tierras negras.

b.- Arcillas con illita y montmorillonita principalmente y con minerales accesorios como micas, cloritas, caolinita etc. Predominan en vega aluvial, lehm margoso bético, suelos margosos del trias y tierra parda caliza.

c.- Arcillas ilíticas, como accesorios montmorillonita, caolinitas, óxidos de hierro (limonitas, hematites, cuarzo etc). Predominan en suelos rojos mediterráneos, tierra parda forestal y suelos arenosos.



## 2.3.- Vegetación.

### 2.3.1.- Bosques, matorrales y pastos.

Los principales tipos de comunidades vegetales de las sierras del sur de Cádiz se han agrupado según la fisionomía o porte de las especies dominantes en bosques, matorrales y pastizales.

Los bosques que crecen en estas sierras se pueden diferenciar en tres tipos: Alcornocal, Acebuchal, Quejigal, Robledal, Bosques de ribera y Canutos.

Alcornocal: es el más abundante en la zona. Los alcornoques, que definen esta comunidad, son frondosas de hojas perennes que dan sombra todo el año. Sus hojas pequeñas y coriáceas evitan la pérdida de agua en verano por transpiración, son poco apetecibles para los herbívoros y se descomponen lentamente en el suelo reteniendo los nutrientes para ser reciclados con mayor eficacia por las raíces.

Crece sobre las areniscas del Aljibe (sustratos ácidos), desde el nivel del mar hasta unos 1.000m de altitud, en localidades donde las lluvias superan los 700 litros anuales.

En las laderas umbrías y coluviones próximos a los cursos de agua, dominan los brezos, sobre todo el cucharero y el de

escobas. También es frecuente encontrar en las umbrías el helecho común.

**Acebuchal:** en los suelos profundos y arcillosos (bujeos) que afloran en la zona inferior de las sierras, por debajo de las areniscas, se presenta un bosque denso, de baja altura, ramificado desde la base, con numerosas lianas y por tanto casi impenetrable. Las especies más abundantes son el acebuche, el algarrobo, el lentisco, el mirto y las enredaderas clemátide, zarzaparrilla y madreselva.

**Quejigal:** en las zonas más húmedas, en el fondo de los valles y en las umbrías, crecen los quejigos. Esta especie de quejigo (*Quercus canariensis*) se distribuye en el SO y NE de la Península Ibérica y es de carácter más térmico que la del interior (*Quercus faginea*). Forman algunos de los bosques más espectaculares de las sierras, como los quejigales del Montero, Tiradero o la Saucedá.

**Robledal:** del roble melojo (*Quercus pyrenaica*) existen algunos bosquetes en la sierra del Aljibe, a partir de los 900m de altitud, con individuos que superan los 10m.

**Bosques de Ribera:** en la orilla de los ríos se dan unas condiciones favorables: disponibilidad permanente de agua y acumulación de nutrientes procedentes del lavado de las partes más altas, que favorecen la existencia de una vegetación densa que sigue la línea del río formando lo que se denomina "bosques de galerías", que suelen estar compuestos de árboles caducifolios que dominan en condiciones de mayor humedad. Al ser la arenisca el sustrato más común de las sierras, las aguas son bastantes pobres en nutrientes y ácidas, siendo el aliso el árbol más abundante en los bosques de galerías. En las zonas más bajas, que recoge el agua de drenaje de los bujeos más rica en nutriente, abundan los fresnos y los sauces. En el tramo inferior, domina el álamo blanco.

**Canutos:** consiste en una densa vegetación de árboles y arbustos entre los que destacan el ojaranzo, avellanillo, aliso, durillo, laurel y acebo. El microclima de humedad permanente y la pobreza en nutrientes del sustrato de arenisca han favorecido la existencia de esta comunidad vegetal peculiar y diversa.

El microclima del interior de los canutos y bosques galería ha permitido la persistencia de una colección de 30 especies de helechos que constituyen una gran riqueza geobotánica.

El *ojaranzo* es un tipo de *Rhododendron* de hoja grande y llamativas flores rosadas que presenta una distribución vicariante (separada en dos áreas distantes), con poblaciones en las sierras del Sur de Cádiz (*ssp baeticum*) y en los Balcanes (*ssp ponticum*).

El matorral domina gran parte del paisaje mediterráneo, debido a la destrucción extensiva del bosque y a su lenta regeneración. Se pueden distinguir 5 tipos principales de matorral: matorral de montaña, breza, jaral, lentiscar y tarajal.

Matorral de montaña: en las partes más elevadas de las sierras, el sustrato de arenisca origina suelos ácidos, lavados, muy pobres en nutrientes, donde se encuentra un matorral de escasa altura formado por robledilla, bermejuela, brecina, jara estepa, torvizco macho y jaguarzo de montaña.

Brezal: los brezos prefieren sustratos ácidos y condiciones de humedad, proliferan en estas sierras formando brezales donde son dominantes o extendiéndose por el sotobosque de alcornocales y quejigales. Son muchas las especies de brezos que abundan en esta zona.

Jaral: En este matorral encontramos la jara pringosa a la que le suelen acompañar jaguarzos, lavándulas y matagallos. La jara pringosa es relativamente escasa en la sierra de Cádiz, en Sierra Morena domina presentando dos variedades.

Lentiscar: matorral dominado por lentisco, junto con agacejo, matagallo, palmito, torvisco, jerguén y con enredaderas, como la zarza, clemátide y zarzaparrilla. El lentisco se encuentra generalmente asociado al acebuche en los bujeos.

Tarajal: en las vegas de los ríos y arroyos que drenan zonas arcillosas, ricas en sales se presenta un matorral de tarajes y adelfas, junto con sauces y zarzas.

El pasto mediterráneo se considera como una de las comunidades vegetales más diversas de la zona templada. Es fácil encontrar más de 40 especies distintas en 1m<sup>2</sup>, o más de 130 en 1.000m<sup>2</sup>; debido a que presenta comunidades tan heterogéneas es difícil diferenciar tipos de pastos, sin embargo, a grandes rasgos se pueden señalar los siguientes:

a.- Los pastos de bujeo son los más extendidos, con abundancia de leguminosas anuales, como los tréboles y carretones.

- b.- Los pastos sobre los suelos de areniscas, ácidos y bien drenados, dominados por gramíneas y compuestas anuales.
- c.- Praderas y juncales, en la proximidad de manantiales y arroyos, con juncos, menta y gramíneas perennes.
- e.- Herbazales de cunetas y zonas enriquecidas en nutrientes, con especies de crecimiento rápido, como hortigas y malvas.
- f.- Comunidades rupícolas, que crecen en las grietas de las rocas, normalmente formadas por plantas suculentas.

#### 2.3.2.- Dominio Climático de *Rhododendron-Alnion*.

Se extiende este dominio por comarcas muy localizadas, en los barrancos profundos (canutos) de las Sierras de Ojén y del Aljibe, y corresponde a comunidades muy particulares que pueden calificarse como una variante gaditana de la alianza Alno-Ulmion. Estos canutos se encuentran por encima de los 350 m de altitud en el tramo de las nieblas y constituye refugio para estas comunidades.

Es la asociación vegetal que se denomina *Franguleto-Rhododendron gaditanum*, y en ella se pueden anotar: *Rhododendron ponticum* ssp *baeticum*, *Frangula alnus* ssp *baetica*, *Erica ciliaris*, *E. stricta*, *Viburnum tinus*, *Hypericum*

*androsaemum*, *Galium ellipticum*, *Festuca drymeja* var. *eliator*, *Agrostis juressi*, como características de asociación y alianza. Como características de unidades fitosociológicas superiores, se pueden anotar: *Alnus glutinosa*, *Ilex aquifolium*, *Fraxinus oxycarpa*, *Myosotis silvatica*, *Erica arborea* etc.

La planta más característica de estas comunidades, *Rhododendron baeticum*, es una variante de *Rhododendron ponticum*, representante de las formaciones de Laurilignosa de las montañas del Cáucaso, donde se presenta en comunidades con *Prunus laurocerassus*. En la provincia de Cádiz, estas comunidades representan relictos de Laurilignosa, que en el sur de España se extendió sin duda notablemente en comunidades con *Prunus lusitanica*, y que ha quedado reducida a situaciones muy localizadas, de gran interés geobotánico. El "monte verde" de Canarias, tiene analogías con este dominio.

### 3.- MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1.- Biología de *Rhododendron*.

*Rhododendron* es un gran género de arbustos dentro de la familia *Ericaceae*, con alrededor de 600 especies concentradas en Sureste de Asia, pero con una pocas especies en América, Asia menor e Iberia.

Es un arbusto perennifolio, de 2-8 m de altura. Las hojas oblongas-elípticas, tienen cerca de 22cm de largo y cerca de 95cm<sup>2</sup> de área, coriácea, lisas, con margen entero ligeramente enrollado, base cuneada y ápice agudo. Con una superficie adaxial verde oscura, brillante, un nervio medio ligeramente imprimido. La superficie abaxial pálida, no brillante, con un prominente nervio medio elevado. Las hojas nuevas son pálidas, pegajosas, con borde glandular, las hojas maduras muestran características xeromórficas, con una fuerte cutícula.

Las yemas vegetativas son estrechas y agudas; las terminales son reproductivas e hinchadas. Flores de racimos compactos, protegidas por escamas frondosas, cáliz pequeño, corola campanulada de varios matices púrpura magenta, manchado con pardo y naranja, con 10 estambres. Los frutos son una cápsula leñosa que persisten por tres años y producen un gran número de



semillas.

Las especies son muy variables en tamaño y habitat, siendo altas y extendidas en las sombras de los árboles y bajas y compactas en situaciones abiertas. Dos subespecies se han descrito (Tutin et al, 1.972): *ssp ponticum* y *ssp baeticum* (Boiss y Reeuter). Las plantas en las Islas Británicas se parecen más a la *ssp ponticum*, pero Cox & Hutchison (1.963) consideran que son principalmente híbridas entre *R. ponticum* y *R. catawbiense*.

### 3.1.1.- Distribución geográfica y altitudinal.

La *ssp baeticum* se encuentra en una pequeña área del Suroeste de España y Centro y Sur de Portugal. La *ssp ponticum* ocurre en Bulgaria, Turquía, U.S.S.R (Caucaso) y Líbano. Se encuentran hasta elevaciones de 1.800-2.000 m en la Costa Oriental del Mar Negro, pero están confinado a zonas más bajas en el Oeste.

### 3.1.2.- Hábitat.

Limitaciones climáticas y topográficas. *Rhododendron* es tolerante a amplios intervalos de temperatura pero es intolerante a la sequía y crece más exuberante en climas uniformemente húmedos. Sevim (1.957) da intermedios para los meses más fríos y cálidos cerca de Yenikonak en el río Ayancik (Turquía) como  $-17^{\circ}\text{C}$  y  $25.9^{\circ}\text{C}$  respectivamente; estas escalas son más grandes de las que se podrían experimentar en las Islas Británicas. En el área de Killarney en el sur-oeste de Irlanda las temperatura medias para los más fríos y más cálidos meses son  $6.9^{\circ}\text{C}$  y  $16^{\circ}\text{C}$  respectivamente. El crecimiento en el este, más seco, de Bretaña es menos vigoroso que en el oeste, más húmedo. Una combinación de baja temperaturas de verano y una exposición severa es probablemente la principal limitación para su crecimiento en altitudes elevadas.

Substrato: datos analíticos realizados en suelos mostraron que *R. ponticum* es más común y crece más vigorosamente, en ausencia de competición, en suelos profundos, arena podsolizadas y suelos con humus drenados. Es menos frecuente en tierras pardas y raramente crece vigorosamente. El promedio de pH para 34 suelos estudiados donde *Rhododendron* crecía fue de 4.2, con una escala entre 3.3 y 6.4. Normalmente el crecimiento en suelos

con un pH mayor grande que 5.0 es pobre, las plantas mostraron signos de desequilibrio mineral. En el área de Killarney, sin embargo, crece sobre piedra caliza con un pH de 6.4. El carbonato de calcio libre puede conducir a deficiencia de Mn y Fe en *Rhododendron* (Tod 1.959); Tod reporta la habilidad de algunas especies para crecer en suelos ricos en magnesio con un pH tan alto como 8.6.

Muchos suelos que soportan *R. ponticum* tienen una baja capacidad de cambio catiónico y bajos niveles de potasio, especialmente si se considera más como volumen que peso. El total de niveles de fósforo varía entre 4 mg/100g y 130 mg/100g de suelo seco. Elevando el nivel total de fósforo de suelos del bosque de roble de Killarney por 100 mg/100g resultó un marcado aumento del crecimiento de las plantas en un ambiente artificial, indicando una deficiencia de fósforo disponible. La adición de nitrato de amonio y potasio, sólo o en combinación con fósforo, no produjo respuesta significativa, aunque los experimentos no fueron concluyentes Cross 1.973). *R. ponticum* muestra una "preferencia" por suelos que contienen una alta proporción de partículas gruesas y tolera suelos excesivamente drenados mejor que suelos inundados (anegados en agua). Está normalmente ausente de pantanos, aunque es abundante en partes de Thorne Waste, W. Yorks donde el nivel de agua está cerca de

la superficie.

Los restos de *Rhododendron* producen un humus mor espeso, oscuro, frágil humus mor, las hojas caen más rápidamente que las de roble. Las hojas de *Rhododendron* sobre el suelo causan una reducción en el número de lombrices de tierra (*Lumbricus rubellus* Hoffmeister) en suelos turbosos (Doekson 1.964), la sustancia responsable es soluble en acetona, pero no en etanol, éter o benceno. Es probable que en común con otras ericáceas *Rhododendron* tiene un efecto sobre el suelo, movilizandoc cationes, directa o indirectamente, por la producción de polifenoles.

En exposición al sol, después de la roza de *Rhododendron*, el humus seco forma una corteza esponjosa que se vuelve a quemar (cocer) en la superficie e inhibe la recolonización por brote de otras especies.

### 3.1.3.- Comunidades.

En su habitat natural en las montañas del norte de Turquía *Rhododendron* ocurre en una mezcla de bosques caducifolios de tilo, roble y castaño, y en bosques de (*haya orientalis*

Lipki). Sus especies asociadas incluye *Ilex aquifolium*, *Prunus laurocerasus* y *Vaccinium arctostaphylos*, *Buxus sempervirens* y *Daphne pontica*. (Walter 1.968). *Pteridium aquilinum*, *Rubus fruticosus*, *Hedera helix* y *Abies* ssp. También se halla en un tipo similar de vegetación en el Sureste de Bulgaria (Turrill 1929) y Sur-Oeste de Iberia (Walter 1.968).

En las Islas Británicas *Rhododendron* puede invadir una amplia variedad de habitats como bosque, brezales y comunidades de pantanos.

#### 3.1.4.- Respuesta a factores abióticos.

- Rebrote: resulta en una proliferación de retoños de las yemas basal latentes. Estas crecen rápidamente formando un denso matorral. Al realizar la remoción de retoños hubo un pequeño efecto en el vigor de las plantas aún después de varios años. Es muy resistente a los herbicidas.

- Fuego: el retoño puede morir si es afectado severamente. La raíz y el tronco son raramente dañados. Puede dominar áreas quemadas en ausencia de competición de plantas bajas durante los primeros pocos años.

-Animales: *Rhododendron* contiene una toxina que es altamente tóxica si es ingerida. Los retoños desgastados y quebrantados en las plantas jóvenes pueden ser resultado de daños por el venado.

-Capacidad competitiva: Son muy resistentes a condiciones desfavorables y pueden sobrevivir por varios años produciendo sólo un ligero crecimiento cuando se encuentran con un bajo crecimiento de la vegetación y grandes cantidades de hojarasca.

El promedio de las plantas es de 5m de altura bajo dosel y pueden alcanzar 7-8m si son protegidas por árboles. En situaciones abiertas raramente excede los 4m y en sitios muy expuestos pueden no alcanzar 2m.

*Rhododendron* resiste las heladas experimentadas en las Islas Británicas y claramente tolera muchas más bajas temperaturas en Turquía. Su habilidad para tolerar sequía depende del hábitat a que está adaptado, así, si crecen en hábitats muy húmedos son menos afectados por la sequía.

### 3.1.5.- Morfología.

Las raíces de los brotes son fibrosas y muy bifurcadas. Muchas raíces adventicias surgen de la base del tallo

especialmente si está rodeado por briofitas u hojas. Ocasionalmente un tronco puede persistir por varias décadas. A pesar de su tejido leñoso natural los retoños carecen de fuerza y tienden a caer con la edad, así se extienden lateralmente.

Se ha observado que las raíces de las plantas forman nudos sueltos en el humus mor, forman nudos sueltos probablemente asociados a micorrizas. Su reproducción es predominantemente por semillas, siendo el desarrollo vegetativo muy limitado. Comienza a florecer alrededor de los 12 años y florece anualmente.

Fenología: el crecimiento de los retoños comienza pronto en mayo, en el Sur-este de Irlanda la extensión a sido observada en febrero. Hay dos períodos principales de elongación en plantas más viejas de cuatro años: mayo-junio y julio-agosto. Un tercer período de crecimiento puede ocurrir en septiembre. El alargamiento del tallo es rápido al principio, pero lento cuando las hojas se expanden. Las yemas de las flores se forman en verano y abren en mayo y junio, siendo más retrasadas en condiciones de mayor altitud y latitud. Las hojas caen durante todo el año, pero con un máximo pronunciado en septiembre y octubre y un mínimo en abril.

Pese a su presencia en las Islas Británicas durante alrededor de 200 años, muy pocos insectos se encuentran asociados a esta

especie.

### 3.2.- Muestreo de suelos y plantas.

Se utilizaron en esta experiencia hojas de *Rhododendron* que fueron tomadas en la región de las Sierras y Colinas del Campo de Gibraltar.

Estas muestras fueron seleccionadas por poblaciones en diferentes sitios de la zona.

La recogida de las muestras se realizó eligiendo de cada área o zona una población (un total de 12 poblaciones) con tres individuos representativos por población, de cada individuo se seleccionaron 30 hojas.

Las muestras una vez recolectadas fueron guardadas en bolsas plásticas y colocadas en cámara fría con el fin de evitar pérdida de humedad; procediendo luego a medir el peso fresco de cada una de ellas.

### 3.3.- Area foliar:

Con el peso fresco ya determinado en cada una de las hojas,



se pasó a medir el área foliar de la siguiente manera:

Se utilizó un medidor de área foliar SKYE, que recoge la imagen de la hoja con una cámara de video, la digitaliza y mide su superficie tomando como referencia una superficie conocida (calibrado). Se tomó como referencia el área medida de un cuadrado de 5 x 5cm teniendo en cuenta que el área real de ese cuadrado es de  $25 \text{ cm}^2$  o  $2.500 \text{ mm}^2$ , luego se fue midiendo el área foliar de cada una de las hojas.

El área real del cuadrado (25cm o 2.500mm) dividida entre el valor de la medida de referencia del área del cuadrado (la que fue medida en el medidor de área foliar) multiplicado por el área medida de la hoja nos da el coeficiente de error que puede haber existido al medir el área foliar de cada hoja.

Una vez medida el área foliar de las hojas, se procedió a secarlas (previamente habían sido lavadas con agua destilada con el objeto de arrastrar todas las partículas que pudieran estar adheridas a ellas y que podrían alterar su análisis químico), este secado se efectuó en una estufa con una temperatura de  $70^\circ$  y durante un período de 48 horas (mínimo), hasta alcanzar un peso seco estable.

### 3.4.- Análisis químico.

#### 3.4.1.- Molienda.

Las hojas ya secas se molieron utilizando un molinillo de cuchillas (acero inoxidable), guardándose las muestras una vez pulverizadas en sobres de papel. Para la molienda de las hojas las muestras de cada individuo se mezclaron entre sí, quedando así al final una muestra muy homogénea por cada individuo para su posterior análisis.

#### 3.4.2.- Mineralización de las muestras.

Los análisis químicos minerales de las muestras vegetales, deben efectuarse sin restos orgánicos que puedan interferir en las determinaciones que se realicen. La mineralización de una muestra vegetal tiene por finalidad la eliminación del componente orgánico (Allen, 1.989). Los métodos empleados para mineralizar las muestras, dependieron de la determinación de los nutrientes.

### 3.4.3.- Determinación de los nutrientes:

En cada una de las muestras finales (ya molida) se realizaron las determinaciones analíticas de los diferentes nutrientes (macro y micro nutrientes). Los métodos utilizados fueron los del Comité Inter-Institus (1.968) y Pinta (1.973).

**Nitrógeno:** para la determinación de este elemento se empleó el método Kjeldahl mediante autoanalizador.

Se tomaron 0.2 g de la muestra seca y pulverizada, a la cual, se le adicionó 5ml de ácido sulfúrico concentrado y 0.5g de catalizador (selenio y tiosulfato sódico en relación 5:100). Se introdujo el conjunto (muestra +  $H_2SO_4$  + catalizador) en un bloque digestor para la mineralización de la materia orgánica (mínimo 1 hora).

Pasado el tiempo la muestra se llevó a un volumen de 25ml añadiendo agua destilada. La determinación del contenido de nitrógeno a partir de esta muestra se hace por colorimetría con referencia a una curva patrón.

El método se basa en la formación de un complejo azul que se origina al fijarse un átomo de nitrógeno con dos moléculas de fenol bajo la acción oxidante de hipoclorito sódico, y que se detecta por autoanalizador TECHNICOM II.

Los resultados se expresan en tanto por ciento.

Para la determinación de los siguientes nutrientes Na, K, P, Ca, Fe, Mg, Cu, Mn, Zn; se realizó en primer lugar un proceso de mineralización de la muestra de la siguiente forma:

Se pesó en una balanza de precisión 1g de la muestra seca pulverizada. Posteriormente se realizó la calcinación en horno eléctrico, con ascenso gradual de la temperatura hasta alcanzar 500°C, permaneciendo por un periodo mínimo de 2 horas. El proceso finalizó cuando se obtuvieron unas cenizas blancas o grises.

Tras la calcinación en el horno y una vez frías, se humedecieron las cenizas de cada muestra con 2ml de agua desionizada, seguidamente mediante la adición de 2ml de ácido clorhídrico concentrado se llevó a cabo el ataque químico y disolución de los constituyentes minerales, hasta la aparición de un humo blanco (Allen, 1.989). Finalmente, se procedió a filtrar y llevar a volumen de 50ml con agua desionizada, obteniéndose el extracto o solución problema.

Determinación del Fósforo: la determinación del P, se llevó a cabo mediante la colorimetría vanadato-molibdato (Pinta et al. 1.969). En la colorimetría desarrollada tiene lugar la formación del complejo fosfato-vanadato-molibdato de color

amarillo.

Del extracto original se tomó en un matraz de 50ml, una alícuota (de 2.5 a 5ml, dependiendo del peso y característica de la muestra), a la que se le adicionó 10ml de reactivo vanadato-molibdato, completando a volumen hasta 50ml con agua desionizada.

La reacción entre el reactivo y el extracto requiere un tiempo mínimo de media hora para desarrollar plenamente el color. La determinación se realizó por espectrofotometría visible frente a una curva patrón previamente preparada en las mismas condiciones que los extractos problemas a partir de una solución madre de fosfato monopotásico. Las lecturas se realizaron directamente, sin reducción química, en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460nm.

Los resultados se expresan en tanto por ciento de materia seca.

Determinación de Potasio y Sodio: la determinación de estos elementos presentes en los extractos originales o sus respectivas diluciones, se llevó a cabo mediante fotometría de llama, frente a sus respectivas curvas patrón preparadas en las mismas condiciones que los extractos a analizar y a partir de soluciones madres comerciales.

Para el potasio se utilizó una cantidad de 5 a 10ml del extracto que se llevó a volumen de 50ml con agua destilada. La lectura se realizó directamente en el fotómetro.

Para el sodio se tomó la misma cantidad de solución problema sin diluir. Las lecturas se realizaron de la misma forma que para el potasio.

Los resultados se expresaron en tanto por ciento.

Determinación de Calcio y Magnesio: la determinación de Ca y Mg se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. Las soluciones para la lectura se prepararon añadiendo a la alícuota solución de óxido de lantano al 3% en medio clorhídrico, a fin de evitar las interferencias que originan Si, P, Al y Fe, tales como la formación de compuestos refractarios no disociados en la combustión del acetileno en aire (Pinta 1.971; Grimshaw et al., 1.989).

Los contenidos en Ca y Mg se expresaron en tanto por ciento, los demás en ppm.

Determinación de Hierro, Cobre, Manganeso y Zinc: la determinación de estos micronutrientes se realizó igualmente mediante espectrofotometría de absorción atómica, y por lectura directa de los extractos problema frente a las curvas patrón

preparadas en las mismas condiciones que los extractos, a partir de soluciones madres. Los contenidos de microelementos se expresan en ppm.

### 3.5.- Análisis de suelos.

Para el análisis de suelo se recogió una muestra representativa por cada población (una pequeña cantidad de suelo de cada una de las zonas donde se tomaron las muestras de los individuos de cada población) a una profundidad de aproximadamente 20cm. Estas muestras fueron guardadas en bolsas plásticas y luego, se extendieron sobre papel y guardadas en una estufa con la finalidad de secarlas.

Una vez secas las muestras son tamizadas y colocadas en sobres de papel para realizar su análisis químico.

#### 3.5.1.- Determinación del pH del suelo.

La determinación del pH de las muestras de suelo se realizó por la técnica operaria (pH al agua 1/2.5 p/v) en la forma siguiente:

Se colocan 20g de tierra seca al aire y tamizada 2mm en un vaso de 100ml, añadiendo 50ml de agua destilada. Se agita con un agitador mecánico durante 10 minutos; o 30 a 60 segundos, con períodos de reposo, si se hace manualmente. Se deja reposar 30 minutos hasta que la tierra se deposita en el fondo y se introduce seguidamente el bulbo del electrodo del peachimetro en la tierra, de tal forma que quede parcialmente cubierto de tierra y de la solución sobrenadante, dejando transcurrir aproximadamente un minuto para tomar el resultado, o hasta que se estabilice la lectura.

### 3.5.2.- Conductimetría.

Esta analítica se realiza para un diagnóstico de la salinidad-alcalinidad mediante el conocimiento de las sales solubles existentes en el suelo, proporcionales a la conductividad eléctrica del mismo. Para la determinación de este parámetro se utilizó la Técnica operaria de la pasta saturada.

Se toman unos 300g de suelo en un vaso de precipitados, añadiendo, sin revolver, pequeñas cantidades de agua hasta que toda la masa de tierra está humedecida. Se añaden unas gotas más de agua hasta que la superficie de la tierra brilla. Se



agita, entonces, el suelo con una varilla de vidrio hasta lograr una pasta fina, pero consistente, añadiendo más agua o tierra si es necesario.

Se deja reposar 15 minutos y se valora en el conductímetro.

### 3.5.3.- Determinación del carbono orgánico.

Para la valoración del carbono orgánico se utilizó el método Walkley y Black.

Se toma 1g de tierra seca y tamizada 2mm y se coloca en un erlenmeyer de 250ml, añadiendo 10ml de dicromato potásico 1 Normal y 20ml de ácido sulfúrico concentrado. Se remueve suavemente durante un minuto y se deja reposar una media hora.

Se añaden unos 150ml de agua, 10ml de ácido fosfórico concentrado y, cuando se ha enfriado, 1ml de difenilamina. La coloración se vuelve azul oscura, casi negra.

Se valora adicionando la sal de Mohr con mucho cuidado, por medio de una bureta, hasta que el color vire del azul-negro a verde sucio. El viraje es difícil de apreciar.

Se valora con la misma sal de Mohr, una solución en blanco sin tierra. Esta prueba debe repetirse en cada análisis, pues la sal de Mohr es muy inestable.

#### 3.5.4.- Determinación de nitrógeno.

Para la valoración del nitrógeno total se utilizó el método Kjeldhal.

Se toman 10g de suelo secado y tamizado, se colocan en un matraz de cuello largo de 750ml (matraz Kjeldhal), añadiendo 40ml de ácido sulfúrico concentrado, unos cristales de sulfato de cobre como catalizador y otros de sulfato potásico como aumentador del punto de ebullición del ácido sulfúrico.

Se colocan en un matraz al fuego, en una vitrina, inclinado a 45º y tapado con un embudo invertido. Se comienza a calentar muy lentamente aumentando progresivamente la temperatura hasta la ebullición del líquido.

Cuando el líquido se aclara se deja hervir todavía una hora más para que finalice completamente la transformación del nitrógeno orgánico en forma amoniacal.

Se deja enfriar y seguidamente, con precaución, se añade lentamente agua hasta duplicar aproximadamente el volumen inicial.

Se trasvasa a un matraz de destilación, añadiendo unas lentejas de sosa (o una solución de NaCl del 60% o 10N) hasta que el líquido sea básico, se comprueba añadiendo fenolftaleína

como indicador (se deja de adicionar sosa cuando el líquido se colorea de rojo).

Para pasar los nitratos a amoniaco se añade una pizca de devarda (mezcla reductora de Al, Cu y Zn) en el mismo matraz. Antes de comenzar a destilar se coloca, en la salida de destilación, un erlenmeyer de 100ml con 50ml de ácido sulfúrico 0.1N y unas gotas del indicador naranja de metilo. Se destila por arrastre de vapor todo el amoniaco, durante unos 15 minutos a partir del inicio de la destilación.

El líquido (amoniaco + ácido sulfúrico) se valora con una solución de sosa 0.1N.

La relación carbono a nitrógeno (C/N) se deduce de la inmediata analítica del carbono y de la del nitrógeno total.

### 3.5.5.- Determinación del potasio disponible.

En la determinación del potasio se empleó el método del potasio de cambio con acetato.

Si el suelo es neutro o ácido se toman 20ml de la solución percolada mediante saturador de acetato amónico 1N a pH 7 y previa de 10g de tierra.

Se equilibra el fotómetro a cero mediante una solución patrón

de litio (Li + 0.015N).

Se toman los 10ml de la solución percolada y se diluyen hasta 50ml (si la concentración esperada de potasio es muy baja se puede diluir sólo a 25ml) con una solución de nitrato de litio 0.0187N y se lleva a un fotómetro de llama para la valoración del K mediante los valores obtenidos con la recta patrón.

Los contenidos de carbono orgánico, C/N y K se expresaron en %.

#### 4.- RESULTADOS.

##### 4.1.- Análisis de suelos.

Aunque los valores de pH se toman como indicativos y comparativos entre los horizontes de un mismo suelo, y entre los suelos de una misma zona, para estos suelos se dan las siguientes referencias indicativas de esos valores y sus consecuencias:

El pH al agua de 4.9 a 6 (ácido, suelo desaturado de bases), muy buena solubilidad del hierro; sino contiene materia orgánica por encima del 1.8% se puede producir insolubilidad de Ca, Mg y K, y precipitación del P. Posible presencia de Al fitotóxico hasta pH 5.5.

pH al agua de 6 a 7.6 (de ligeramente ácido a neutro y a ligeramente básico, suelo con saturación media de bases), muy buena solubilidad de los iones nutritivos.

Tabla 1. pH, CE past (ds/m) y K disponible de las muestras de suelos.

muestra	pH	CEpast ds/m	Kdispon ppm	C org %	M.O. %	C/N %	N-Kjel
2	6.2	---	105	2.56	4.40	----	----
3	5.8	0.24	282	4.15	7.15	11.5	0.36
4	5.3	0.18	116	3.87	6.67	11.5	0.34
5	5.8	0.27	183	2.14	3.69	11.2	0.19
6	5.5	0.08	133	5.17	8.89	----	----
7	5.7	0.11	273	4.96	8.53	----	---
8	5.8	0.24	282	3.06	5.28	11.4	0.27
9	5.3	0.11	241	4.32	7.45	11.5	0.37
10	5.7	0.33	423	8.02	13.83	11.7	0.69
11	5.7	0.18	390	2.87	4.95	11.4	0.25
12	5.7	0.16	174	2.44	4.21	11.3	0.22

La utilidad de la analítica de la conductimetría y el diagnóstico de la salinidad sirve para asegurar la existencia de sales solubles en el suelo. Los valores dados en la tabla 1 para los suelos analizados y de acuerdo a las orientaciones

agronómicas la relación entre la conductimetría de la pasta saturada y los niveles cualitativos de salinidad nos permiten decir que estos suelos se encuentran entre:

- 0 a 0.2 ds/m ..... Sin salinidad
- 0.2 a 0.4 ds/m ..... algo de salinidad (afecta a cultivos sensibles).

Potasio: La valoración de este elemento está encaminada, de forma principal, a conocer la disponibilidad del potasio como nutriente de los vegetales más que a definir las características del complejo adsorbente, ya que las cantidades de potasio influyen muy poco en el grado de saturación. Los valores obtenidos del potasio y su correspondencia como elemento nutritivo son:

- muestra 2 105 ppm de K ..... Contenido normal
- muestra 3 282 ppm de K ..... Contenido muy alto
- muestra 4 116 ppm de K ..... Contenido normal
- muestra 5 183 ppm de K ..... Contenido alto
- muestra 6 133 ppm de K ..... Contenido normal
- muestra 7 273 ppm de K ..... Contenido muy alto
- muestra 8 282 ppm de K ..... Contenido muy alto
- muestra 9 241 ppm de K ..... Contenido muy alto
- muestra 10 423 ppm de K ..... Contenido muy alto

muestra 11 390 ppm de K ..... Contenido muy alto  
muestra 12 174 ppm de K ..... Contenido alto.

De acuerdo a los resultados de los valores en el contenido de materia orgánica de los suelos analizados (tabla 1), se puede decir que estos suelos tienen un contenido alto en materia orgánica (a excepción de los suelos de las poblaciones 5 y 12), presentando un tipo de humus llamado Mull ácido, que se encuentra en climas templados y húmedos, sobre vegetación de robledal, por ejemplo, cuando el complejo adsorbente está desaturado y el medio es ácido. Este tipo de mull contiene gran proporción de humina de insolubilización. La evolución de este mull ácido está determinada por la presencia de iones aluminio y hierro solubilizados por la escasa presencia de calcio. El pH oscila en torno a 5.5 y la relación C/N es también baja, estableciéndose alrededor de 12, lo que indica una mineralización bastante rápida.

#### 4.2.- Morfología de la hoja.

Para analizar la respuesta del Ojaranzo (*Rhododendron ponticum* L.) a los suelos ácidos se han medido los siguientes



parámetros:

Peso fresco de la hoja

Peso seco de la hoja

Peso fresco/ peso seco de la hoja

Area foliar.

Area foliar específica.

El cociente entre el área foliar/peso seco de la hoja nos indica el área foliar específica. El área foliar específica es un índice de la eficiencia fotosintética de la hoja. Es una medida de la densidad relativa foliar en relación a su peso seco. No tiene símbolo y el término "específico" indica la división por el peso. El cociente entre el área foliar específica/peso seco de la hoja nos indica el área foliar específica.

En la tabla 2 se indican los valores medios y error estándar del peso fresco, peso seco y área foliar. De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que:

El valor medio de peso fresco más alto es el que corresponde a la muestra 9, individuo 3 (1.90g), teniendo también el valor más alto en peso seco (0.82g) y área foliar (62.85cm).

Tabla 2. Morfología de la hoja: peso fresco, peso seco y área foliar. Se presentan la media y el error estándar (Err, Std) de una muestra de 30 hojas para cada individuo (excepto n=10, n=7).

Muestra	Indiv	Peso fresco(g)			Peso seco (g)		Area foliar(cm <sup>2</sup> )	
		Media	Err	Std	Media	Err	Std	Std
1	1*	1.76	0.11		0.75	0.15	52.89	3.34
	2*	0.99	0.07		0.40	0.07	39.72	3.09
	3*	1.39	0.15		0.52	0.05	52.89	3.34
1v	1*	1.56	0.09		0.69	0.04	58.71	2.51
	2*	1.51	0.09		0.73	0.05	51.15	2.19
	3*	1.24	0.03		0.53	0.01	52.46	1.56
2	1*	0.76	0.05		0.3	0.02	25.04	1.77
	2*	0.98	0.07		0.41	0.02	36.98	1.68
	3*	1.37	0.09		0.50	0.03	45.16	2.42
2v	1*	1.16	0.05		0.50	0.02	33.47	1.52
	2*	1.72	0.10		0.72	0.04	48.19	2.21
	3*	1.12	0.04		0.46	0.01	36.09	2.01
3	1*	0.70	0.04		0.29	0.02	23.61	1.13
	2*	0.77	0.04		0.31	0.01	25.08	1.10
	3*	0.85	0.07		0.36	0.03	26.95	2.13
4	1	1.05	0.04		0.48	0.01	30.05	1.03
	2	1.34	0.05		0.58	0.02	45.78	1.64
	3	1.43	0.04		0.63	0.02	44.89	1.13
5	1	1.08	0.05		0.41	0.02	38.83	2.23
	2	1.01	0.03		0.43	0.01	28.53	1.06
	3	1.25	0.05		0.59	0.03	32.70	1.16
6	1	1.23	0.05		0.56	0.02	45.29	1.67
	2	1.40	0.06		0.64	0.02	46.69	2.18
	3	1.25	0.04		0.56	0.02	41.92	1.52
7	1	1.24	0.05		0.53	0.02	44.77	1.72
	2	1.14	0.03		0.43	0.01	43.11	1.26
	3	1.61	0.05		0.66	0.02	55.21	1.91
8	1	1.01	0.03		0.46	0.01	33.26	0.95
	2	0.83	0.03		0.36	0.01	33.69	1.13
	3	1.01	0.05		0.43	0.02	32.78	1.39
9	1	1.00	0.04		0.36	0.01	41.58	1.30
	2	1.41	0.05		0.67	0.01	41.97	1.49
	3	1.94	0.05		0.82	0.02	62.85	1.67
10	1	1.11	0.04		0.48	0.01	35.27	1.22
	2	0.89	0.03		0.38	0.01	31.63	1.01
	3	1.41	0.04		0.55	0.01	54.54	1.49
11	1	1.13	0.06		0.54	0.03	34.80	1.71
	2	1.03	0.03		0.44	0.01	37.31	1.71
	3	1.11	0.04		0.50	0.02	33.54	1.74
12	1	0.96	0.03		0.48	0.01	26.26	0.91
	2	0.92	0.04		0.44	0.02	25.82	1.30
	3	0.91	0.04		0.04	0.01	25.28	0.93

Tabla 3. Morfología de la hoja: cociente peso fresco/peso seco y Area foliar específica.

Muestra	Indiv	Peso fresco/peso seco	Area foliar específica
1	1	2.34	70.52
	2	2.47	99.3
	3	2.67	101.71
1v	1	2.26	85.08
	2	2.06	70.06
	3	2.33	98.98
2	1	2.53	83.46
	2	2.39	90.19
	3	2.74	90.32
2v	1	2.32	66.94
	2	2.38	66.93
	3	2.43	78.45
3	1	2.41	81.41
	2	2.48	80.90
	3	2.36	71.86
4	1	2.18	62.60
	2	2.31	73.93
	3	2.26	71.25
5	1	2.63	74.70
	2	2.34	66.34
	3	2.11	55.42
6	1	2.19	80.87
	2	2.18	72.95
	3	2.23	74.85
7	1	2.33	84.47
	2	2.65	100.25
	3	2.43	83.65
8	1	2.19	72.30
	2	2.30	93.58
	3	2.34	76.23
9	1	2.77	115.5
	2	2.10	62.64
	3	2.31	76.64
10	1	2.31	73.47
	2	2.34	84.23
	3	2.56	99.16
11	1	2.09	64.44
	2	2.34	84.79
	3	2.22	67.08
12	1	2.00	54.70
	2	2.09	58.68
	3	2.06	57.45

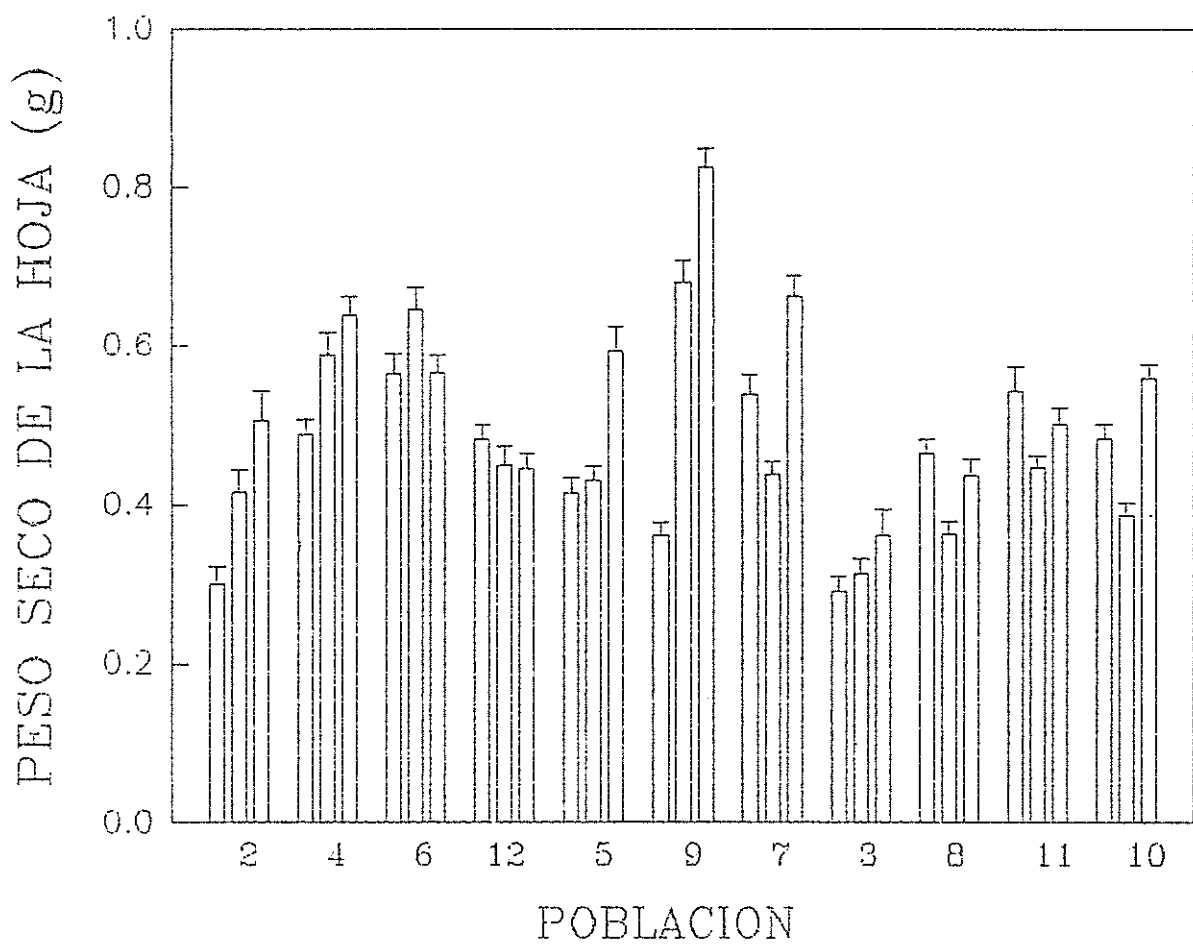
La muestra 3, individuo 1 presenta los valores más bajo de peso fresco (0.70g), peso seco (0.29g) y área foliar (23.61cm ).

El valor más alto en el cociente peso fresco/peso seco de la hoja lo presentó el individuo 1 de la muestra 9 y fue de 2.77 y por lo tanto el valor más alto de área foliar específica (115.5cm<sup>2</sup>)(Tabla 2).

Los valores más bajos correspondieron al individuo 1 de la muestra 12 y fueron de 2.00 para peso fresco/peso seco y 54.70cm<sup>2</sup> para el área foliar específica.

En la gráfica 1 donde se hallan representados los valores medios del peso seco (eje Y) y las diferentes poblaciones (eje X) encontramos que el máximo valor medio se encuentra en el individuo 3 de la población 9 y la mínima en el individuo 1 de la población 3.

Los valores intermedios de peso seco se encuentran en el individuo 2 de la población 2 y en el individuo 1 de la población 5.



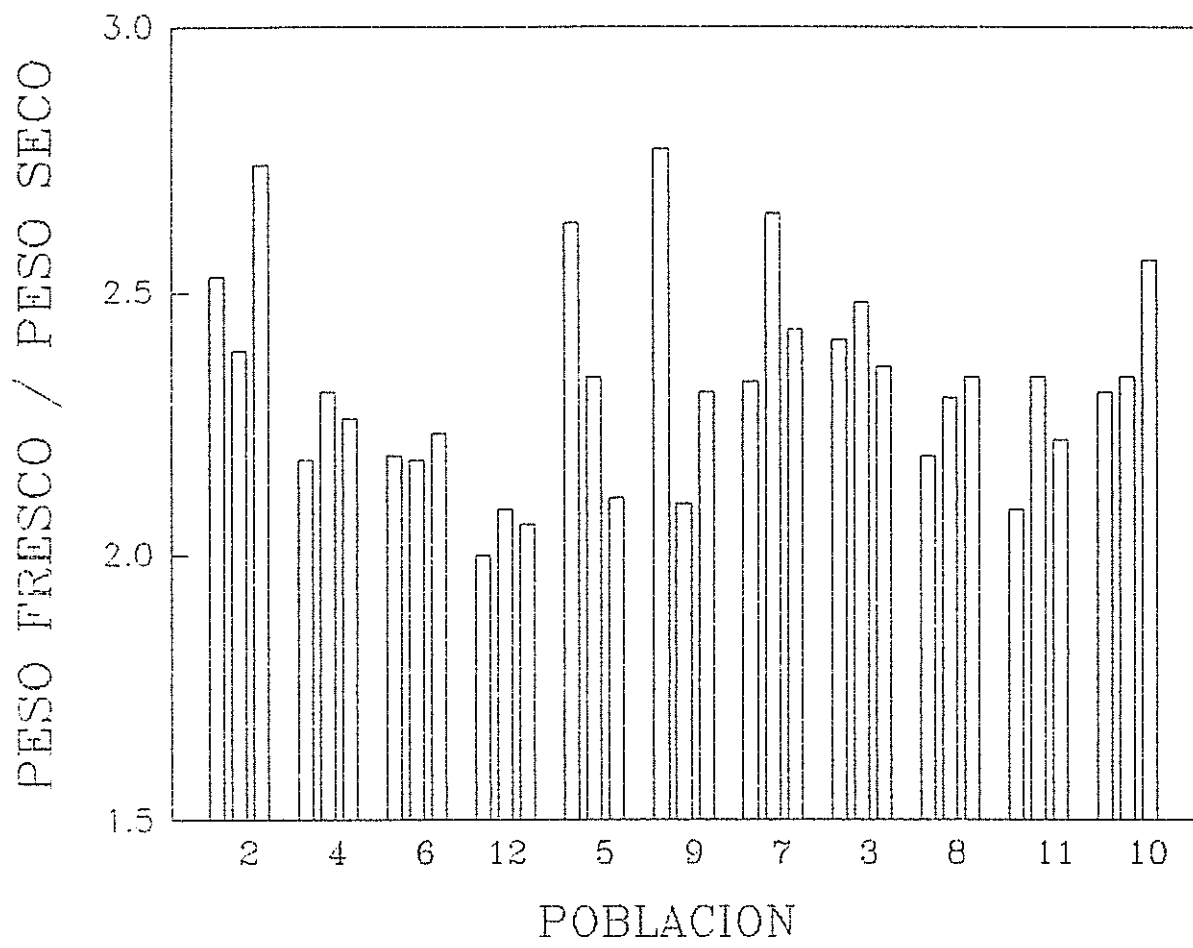
Gráfica 1.-Peso seco de la hoja (g) y poblaciones de *Rhododendron*. Se observan 3 individuos por cada población. Se presenta el error estándar para cada individuo. El valor medio más bajo fue para el individuo 1 de la población 3 y el más alto para e individuo 3 de la población 9.

Se observa que hay mayor diferencia respecto al peso seco entre los individuos de la población 9, mientras que, la menor diferencia entre individuos de una población se encuentra en la población 12.

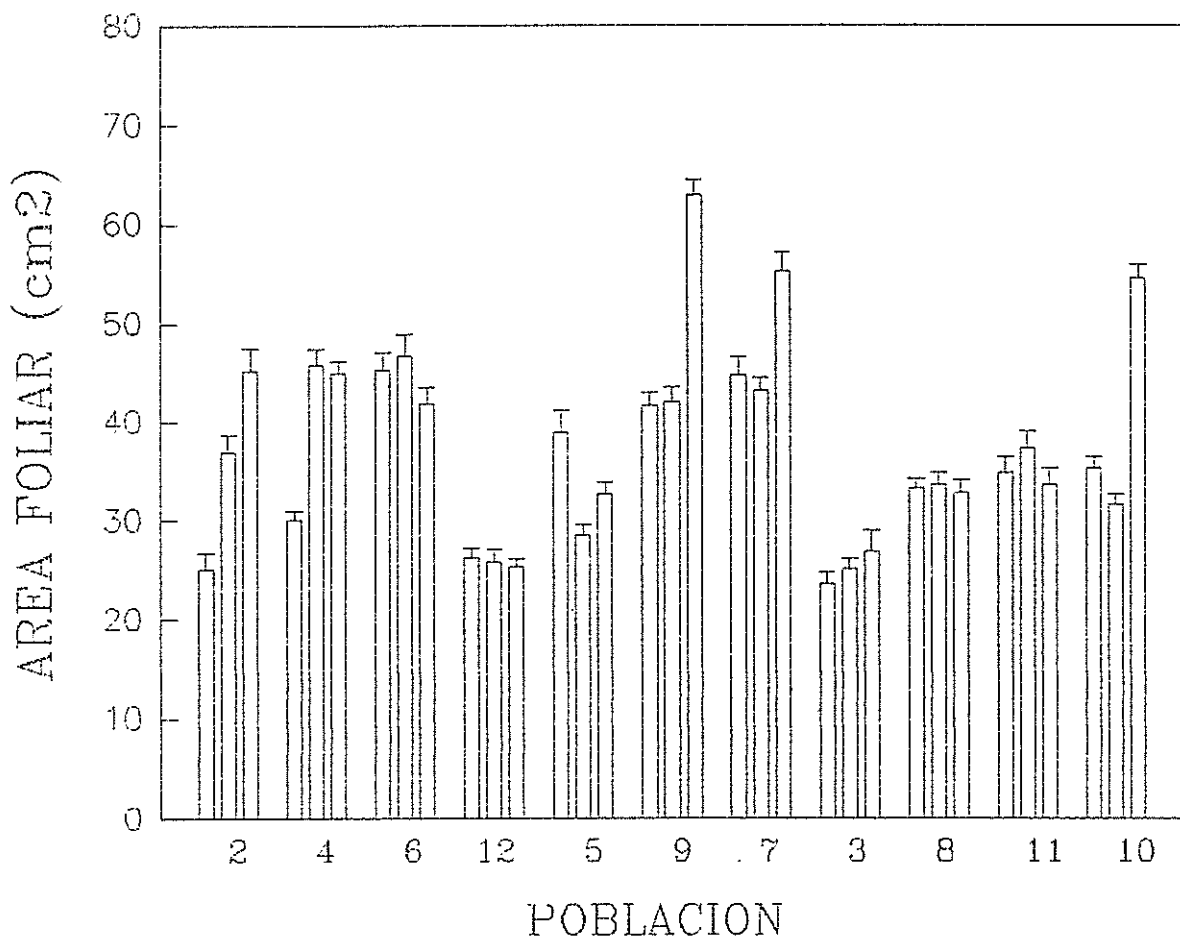
El valor más alto de la media del área foliar (gráfica 2) como se mencionó anteriormente se encuentra en el individuo 3 de la población 9 y la mínima se encuentra en el individuo 1 de la población 3.

Con relación al área foliar, podemos observar que entre los individuos de la población 12 hay una menor variabilidad al igual que en los individuos de la población 8. La mayor variabilidad se presenta en las poblaciones 9, 2 y 4.

En cuanto al área foliar específica (gráfica 3) la media más alta se encuentra en el individuo 1 de la población 9 ( $115.5\text{cm}^2/\text{g}$ ); seguido del individuo 2 de la población 7 ( $100.25\text{cm}^2/\text{g}$ ). La media más baja se observa en el individuo se observa en el individuo 1 de la población 12 ( $54.70\text{cm}^2/\text{g}$ ) seguido del individuo 3 de la población 5. Entre los valores medios de área foliar específica, la mayor variabilidad se halla entre los individuos de la población 9, 5 y 10.



Gráfica 2. Peso fresco/peso seco de las hojas y número de poblaciones. Se presenta el valor medio más bajo en el individuo 1 de la población 12 y el más alto para el individuo 1 de la población 9. Estos valores en general fueron altos.

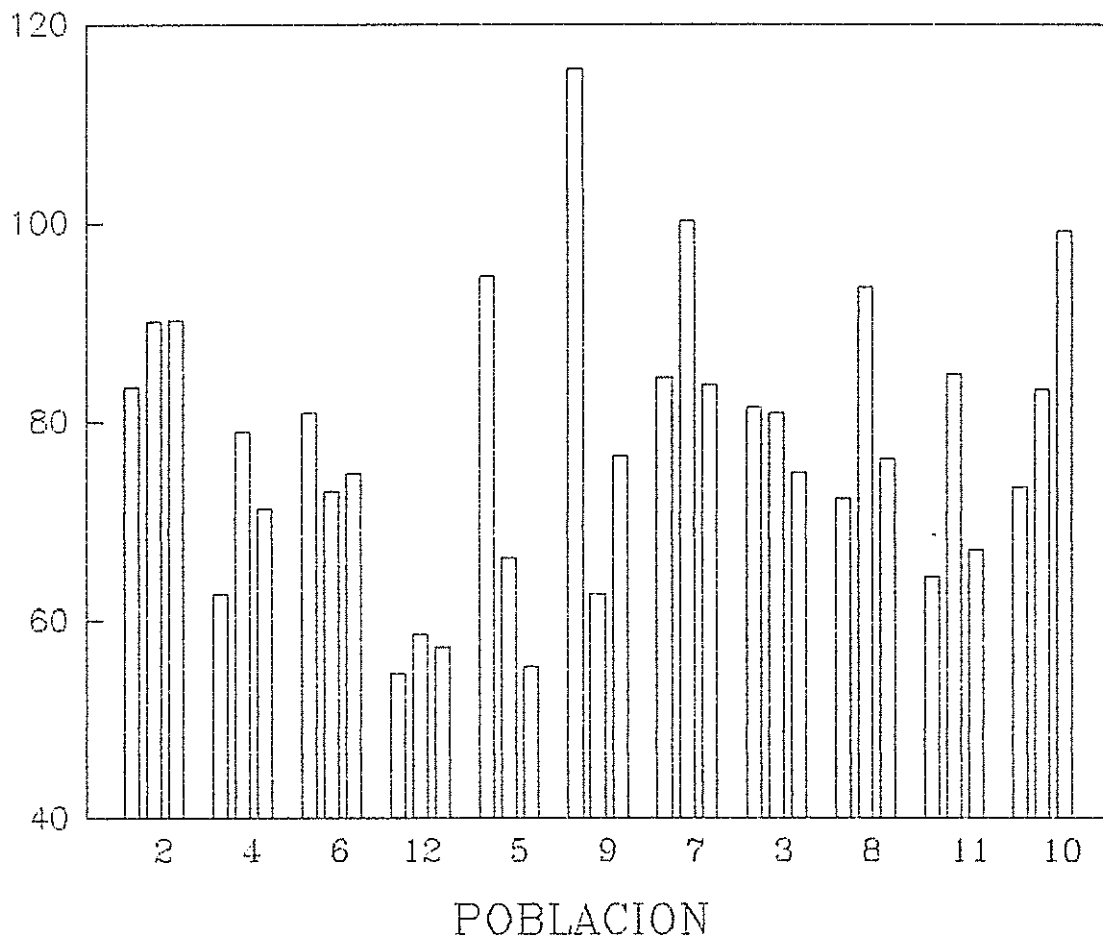


Gráfica 3. Area foliar (cm<sup>2</sup>) y poblaciones de *Rhododendron*.

El valor medio más bajo se observa en el individuo 1 de la población 3 y el más alto en el individuo 3 de la población 4. Se observa también el error estándar para cada individuo.



AREA FOLIAR ESPECIFICA (cm<sup>2</sup>/g)



Gráfica 4. Area foliar específica y poblaciones de *Rhododendron*. Se presentan valores altos para esta medida. El valor medio más bajo correspondió al individuo 1 de la población 9 y el más alto al individuo 1 de la población 12.

De acuerdo a la gráfica 4 que representa el cociente entre el peso fresco/peso seco de la hoja encontramos que el valor medio más alto corresponde al individuo 1 de la población 9 y el más bajo al individuo 1 de la población 12 (esta población presenta los valores más bajos de peso fresco/peso seco).

En las poblaciones 6 y 12 observamos que existen valores medios más uniformes.

La variabilidad más alta se halla en la población 9 seguida de la población 5.

#### 4.3.- Concentración de los elementos minerales:

De una manera general, las plantas tienen la tendencia a no absorber más que un número bastante reducido de elementos: además del carbono, el oxígeno y el nitrógeno que son los constituyentes mayoritarios de los tejidos vivos; se encuentran relativamente concentrados en las plantas: B, S, Zn, Ca, Cu, K etc. Otros como Mo, Mg, Fe aunque menos concentrados en los tejidos vegetales, son también biológicamente indispensables.

Tabla 4. Contenido en macronutrientes en hojas.

Muestra	Indiv	N	P	K	Ca %	Mg	Na	S
1	1	0.87	0.04	0.06	0.90	0.26	0.08	0.06
	2	1.31	0.07	0.50	1.05	0.25	0.12	0.05
	3	0.99	0.05	0.67	1.41	0.33	0.10	0.05
1v	1	1.00	0.05	0.37	1.06	0.30	0.07	0.06
	2	0.87	0.04	0.30	0.78	0.22	0.05	0.04
	3	1.12	0.07	0.65	1.08	0.28	0.06	0.04
2	1	1.13	0.06	0.79	0.90	0.28	0.07	0.07
	2	1.31	0.06	0.64	1.35	0.32	0.06	0.06
	3	1.13	0.06	1.25	0.95	0.26	0.07	0.07
2v	1	1.13	0.05	0.49	0.95	0.30	0.03	0.07
	2	1.13	0.07	0.54	1.30	0.38	0.03	0.07
	3	1.13	0.06	0.89	0.88	0.29	0.04	0.04
4	1	1.30	0.04	0.40	1.55	0.26	0.03	0.08
	2	1.37	0.06	0.82	1.02	0.23	0.04	0.10
	3	1.49	0.06	0.67	1.17	0.25	0.04	0.08
5	1	1.00	0.07	0.75	0.99	0.33	0.11	0.07
	2	1.05	0.06	0.47	1.09	0.50	0.08	0.08
	3	0.83	0.04	0.35	1.29	0.44	0.03	0.07
6	1	0.93	0.07	0.67	1.34	0.25	0.05	0.07
	2	0.86	0.05	0.70	1.30	0.24	0.03	0.08
	3	0.82	0.06	0.77	1.29	0.26	0.03	0.08
7	1	0.86	0.05	0.85	1.26	0.23	0.04	0.05
	2	1.00	0.07	0.97	1.01	0.24	0.03	0.04
	3	0.86	0.04	0.72	1.06	0.24	0.03	0.04
8	1	0.86	0.03	0.62	0.81	0.30	0.02	0.03
	2	0.78	0.04	0.52	0.98	0.31	0.03	0.03
	3	0.44	0.03	0.40	1.53	0.32	0.03	0.03
9	1	0.92	0.05	0.90	0.96	0.28	0.09	0.08
	2	0.87	0.04	0.55	0.91	0.23	0.02	0.07
	3	0.82	0.04	0.55	1.49	0.24	0.04	0.05
10	1	1.10	0.07	0.52	1.40	0.27	0.02	0.05
	2	0.87	0.05	0.55	1.14	0.26	0.03	0.06
	3	0.82	0.05	0.75	1.33	0.30	0.07	0.05
11	1	0.77	0.04	0.30	1.12	0.32	0.02	0.04
	2	0.77	0.04	0.75	0.99	0.25	0.02	0.04
	3	0.82	0.06	0.50	1.18	0.31	0.02	0.04
12	1	0.51	0.03	0.32	0.97	0.29	0.02	0.04
	2	0.65	0.03	0.32	1.45	0.30	0.02	0.07
	3	0.87	0.04	0.35	1.21	0.26	0.02	0.04

#### 4.3.1.- Contenido en macronutrientes.

Los macronutrientes son constituyentes de compuestos orgánicos, tales como proteínas, ácidos nucleicos etc.

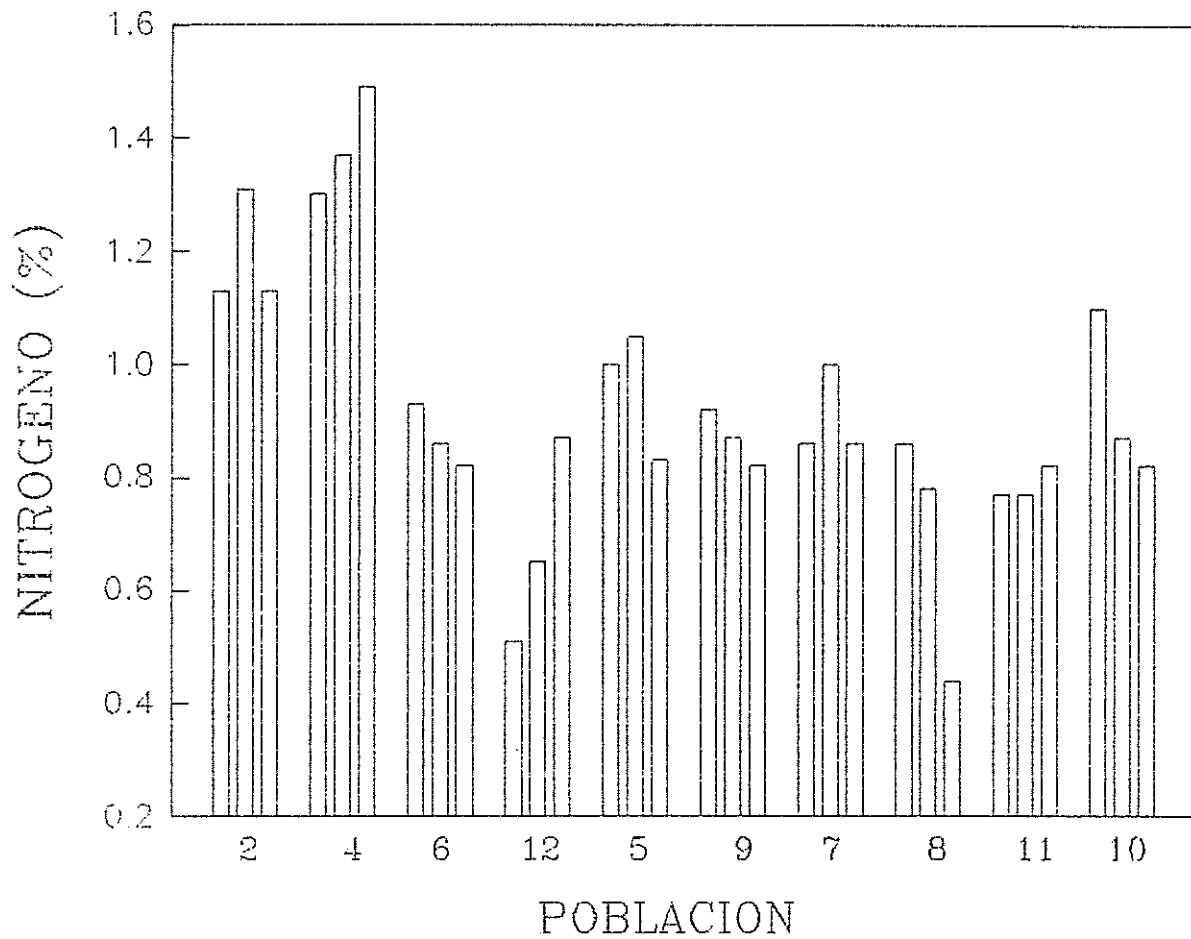
##### Nitrógeno:

Es esencial en la síntesis de la clorofila y es un componente de las proteínas y del protoplasma.

La distribución porcentual del nitrógeno en las hojas de *Rhododendron* es mayor en los individuos de la población 4, de los cuales, el mayor porcentaje corresponde al individuo 3 (1.49%); el individuo 2 presenta 1.37% y el individuo 1 1.30%. Los individuos de la población 2 también presentan alto porcentaje de nitrógeno.

El porcentaje de nitrógeno es más bajo en el individuo 3 de la población 8 y fue de 0.44%, seguido del individuo 1 de la población 12 con un 0.51%.

Según la gráfica 5 se puede observar que existen poblaciones en las que no existe mucha diferencia en el contenido de nitrógeno entre los individuos, por ejemplo los individuos de la población 6, 9 y 11.



Gráfica 5. Contenido en N (%) y poblaciones de *Rhododendron*. Se observa que no hay mucha variación entre los individuos. El % en N fue más alto para el individuo 3 de la población 4 y el más bajo para el individuo 3 de la población 8.

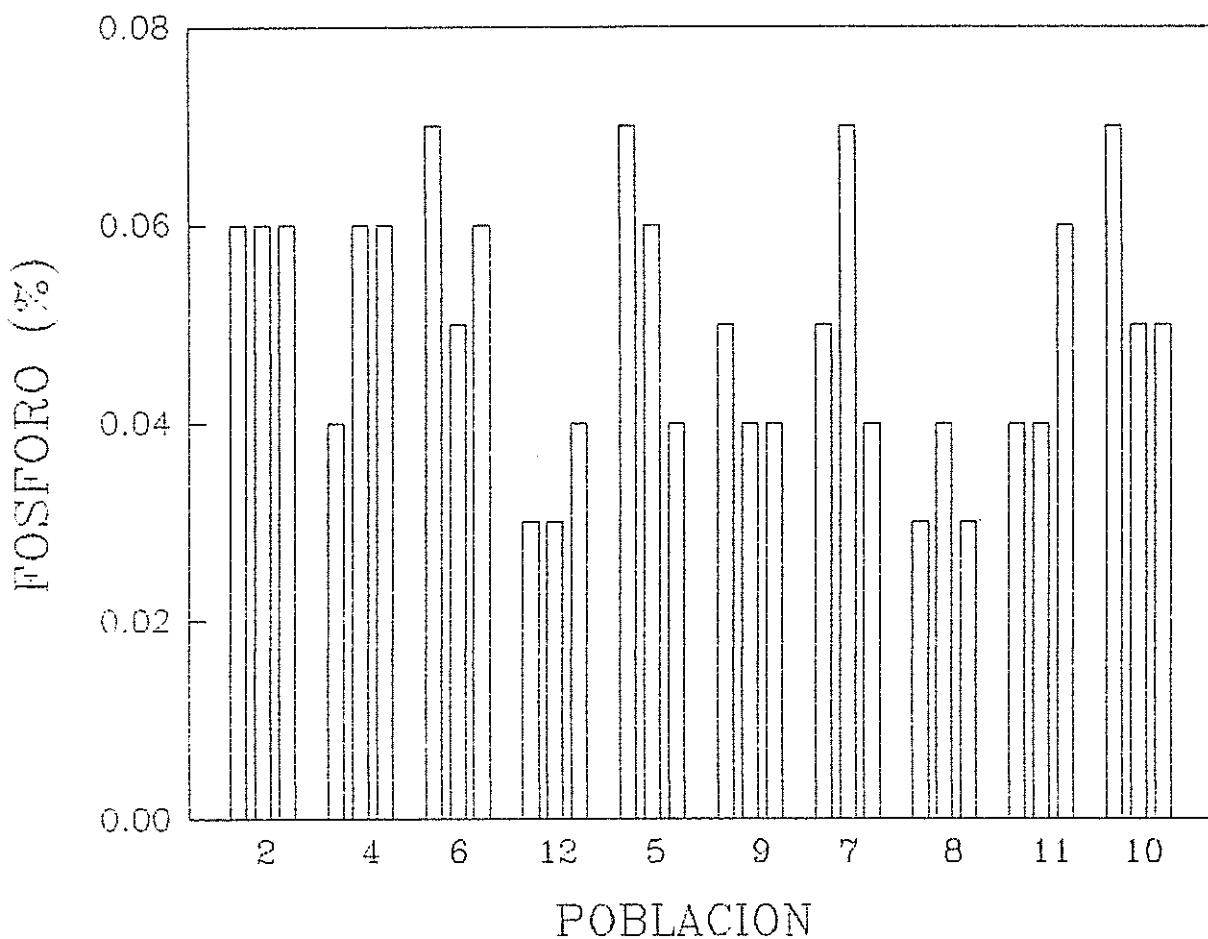
En general la diferencia en el contenido de nitrógeno entre las poblaciones no fue muy grande.

El pH del suelo donde se tomó la muestra de la población 4 fue de 5.3 (el más bajo de todos los pH de suelo analizados para las poblaciones de Rhododendron), el pH del suelo perteneciente a la población 8 fue de 5.8.

#### Fósforo:

El fósforo forma parte de los tejidos de la planta, en una proporción cuyo valor medio puede situarse entre 0.5 y el 1% de la materia seca. Es un elemento plástico y también catalítico, debido a que es un constituyente de muchas coenzimas y lo que es especialmente importante como parte integrante del ATP. El fósforo es un componente del núcleo de la célula y es esencial para su división y para el desarrollo del tejido meristemático.

Los contenidos más alto de fósforo lo presentan los individuos 1, 1, 2 y 1 de las poblaciones 6, 5, 7 y 10 respectivamente con un porcentaje de 0.07%.



Gráfica 6. Contenido en P (%) y poblaciones de *Rhododendron*. Se presentan varios valores altos: individuos 1 de las poblaciones 6 y 5; individuo 2 y 1 de las poblaciones 7 y 10 respectivamente. Se encuentran también valores bajos: individuos 1 y 2 de la población 12 e individuos 1 y 3 de la población 8.

Los porcentajes más bajos de P lo presentan las poblaciones 12 (individuos 1 y 2) y 8 (individuos 1 y 3) con un valor de 0.03%.

Hay que destacar que los individuos pertenecientes a la población 2 presentan valores iguales (0.06%) en el contenido de nitrógeno.

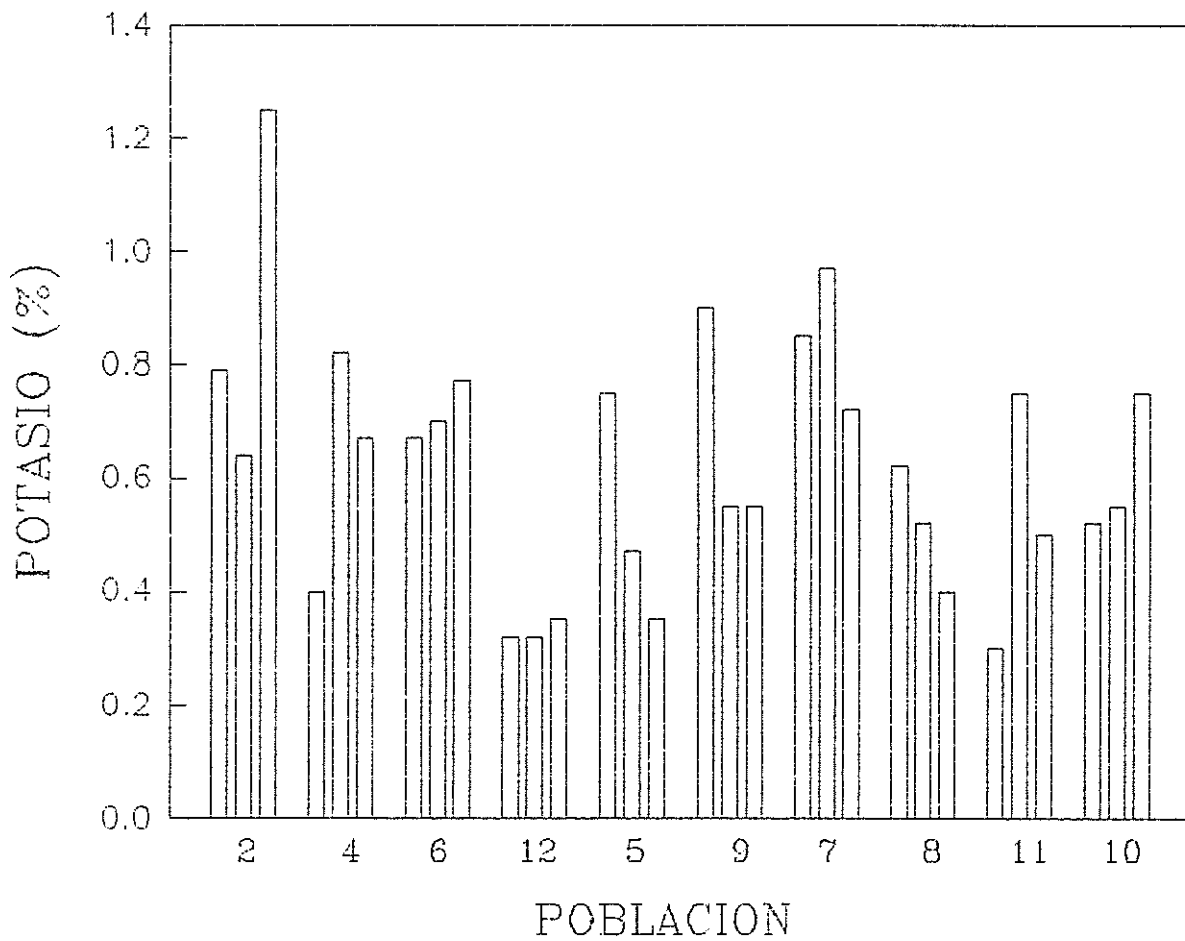
Este elemento no presenta en líneas generales (gráfica 6 y tabla 3) mucha variabilidad entre las poblaciones (los valores oscilan entre 0.04 y 0.07%). Las poblaciones 12 y 8 tienen los valores más altos en fósforo.

#### Potasio:

Este nutriente actúa en procesos de producción de carbohidratos, fotosíntesis, actividad hidrolítica de las enzimas y transferencia de carbohidratos. También cumple un papel fundamental en el cierre y apertura de estomas.

El contenido de potasio es elevado en el individuo 3 de la población 2 (gráfica 7) con un valor de 1.25% (tabla 3); el más bajo porcentaje de potasio lo presenta el individuo 1 (gráfica 7) de la población 11 con 0.30% (tabla 3).





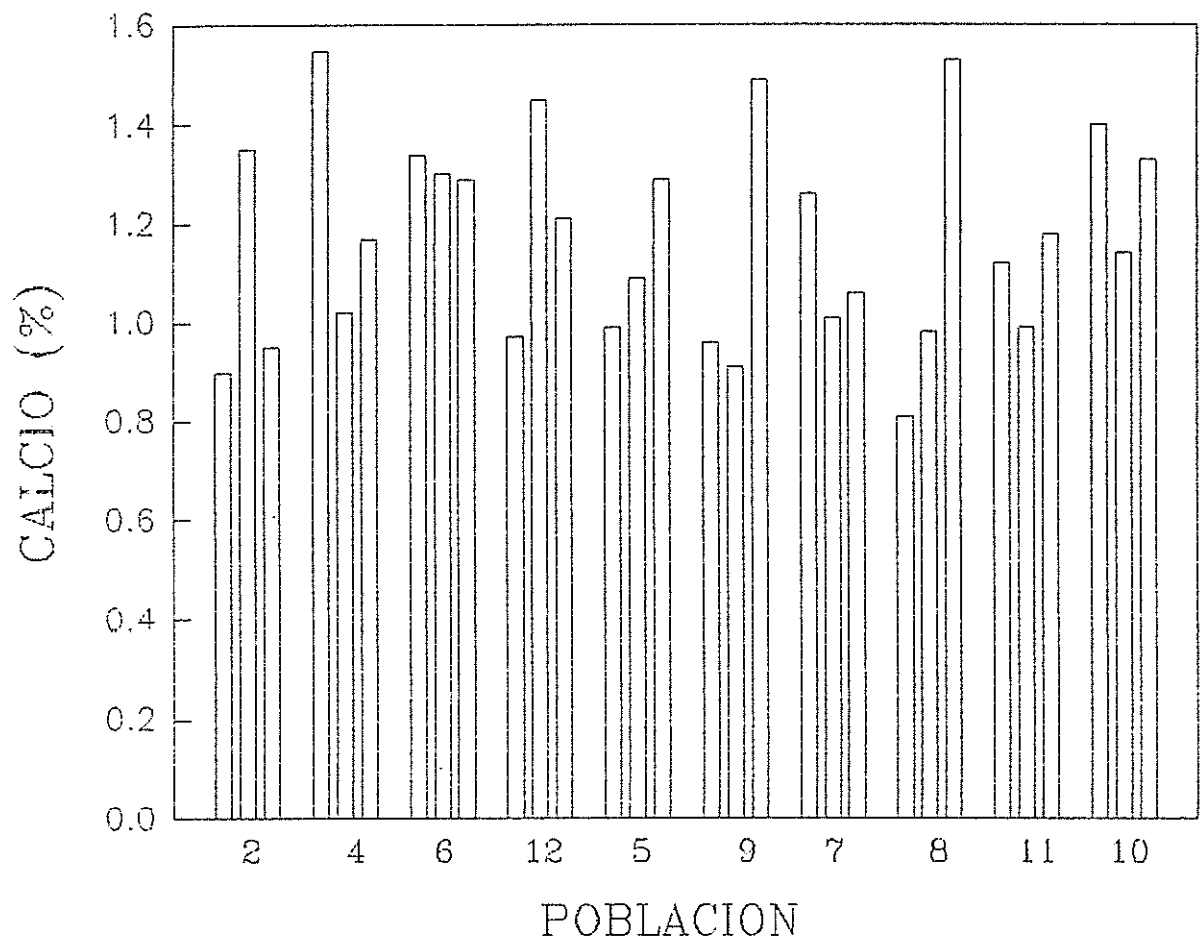
Gráfica 7. Contenido en K (%) y poblaciones de *Rhododendron*. El contenido en K más alto se presenta en el individuo 3 de la población 2, el más bajo corresponde al individuo 1 de la población 11.

Con excepción del individuo 3 (población 2) los valores en el porcentaje de potasio se encuentran entre 0.30 y 0.9%, por lo cual podemos decir que existen mucha diferencia en el contenido de potasio entre las poblaciones.

#### Calcio:

El contenido de calcio en la planta varía bastante en función del calcio asimilable en el suelo. Un papel conocido de calcio en las plantas es su participación en las paredes celulares en forma de pectato. Es esencial para el crecimiento de los ápices de las plantas y en la formación de capullos, juega un papel importante en el mantenimiento de la integridad de la membrana y con las raíces en particular, contra el desequilibrio iónico, bajo pH e iones tóxicos como Al. La concentración de calcio en el peso de las plantas puede variar sobre la amplia escala de alrededor de 0.1 a 2.5%.

Este macronutriente se encuentra en cantidades que van entre 0.81 y 1.55% (tabla 3), al comparar las diferentes poblaciones se puede observar que no hay mucha variabilidad.



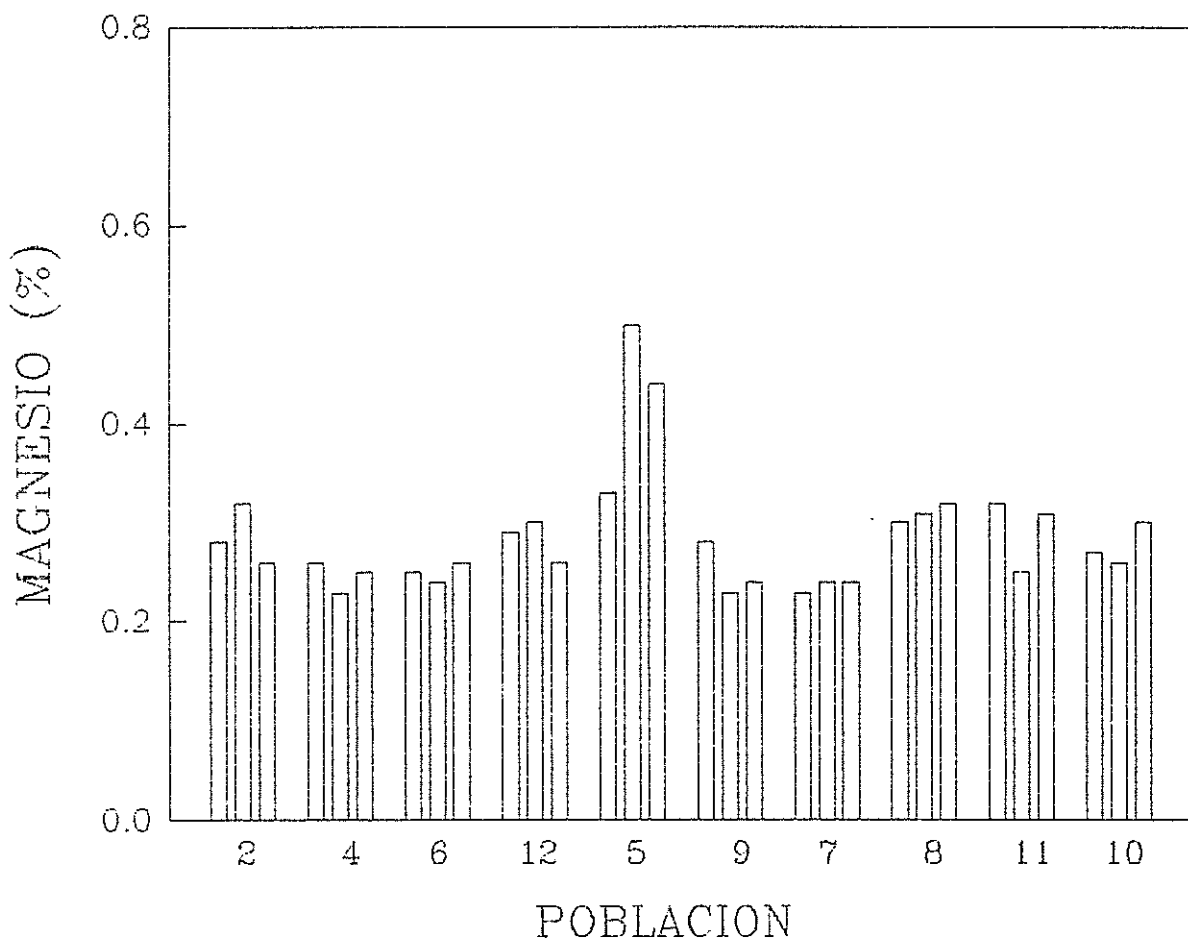
Gráfica 8. Contenido en Ca (%) y poblaciones de *Rhododendron*.  
 Se observa en general que los valores en este elemento no presentan muchas diferencias. El contenido más alto corresponde al individuo 1 de la población 4 y el más bajo al individuo 1 de la población 8.

El contenido más alto de calcio se halla en el individuo 1 de la población 4 con un porcentaje de 1.55%, en una menor proporción en el individuo 3 (población 8) con 1.53%; individuo 3 (población 9) con 1.49%; individuo 2 (población 12) con 1.45%; individuo 1 (población 10) con 1.40%.

El individuo 1 de la población 8 registró el contenido de calcio más bajo con 0.81%. De las diferentes poblaciones la 6 tuvo el porcentaje de calcio más uniforme. El contenido total más bajo de calcio en las poblaciones se halla en la población 12 y el más alto en la población 2. Existe una gran variabilidad entre individuos y poblaciones (gráfica 8).

#### Magnesio:

El magnesio es un componente principal de la clorofila, ejerce un efecto favorable en la formación de proteínas y vitaminas, aumenta la resistencia de la planta ante un medio adverso e interviene en la formación de nódulos de las raíces de las leguminosas. La concentración de magnesio en la materia seca de planta es variable, pero generalmente más baja que el calcio.



Gráfica 9. Contenido en Mg (%) y poblaciones de *Rhododendron*.  
 Estos valores en general son bajos y muy semejantes. En la población 5 se encuentran los contenidos más altos en Mg, el contenido más bajo correspondió a los individuos 22, 2 y 1 de las poblaciones 4, 9 y 7 respectivamente.

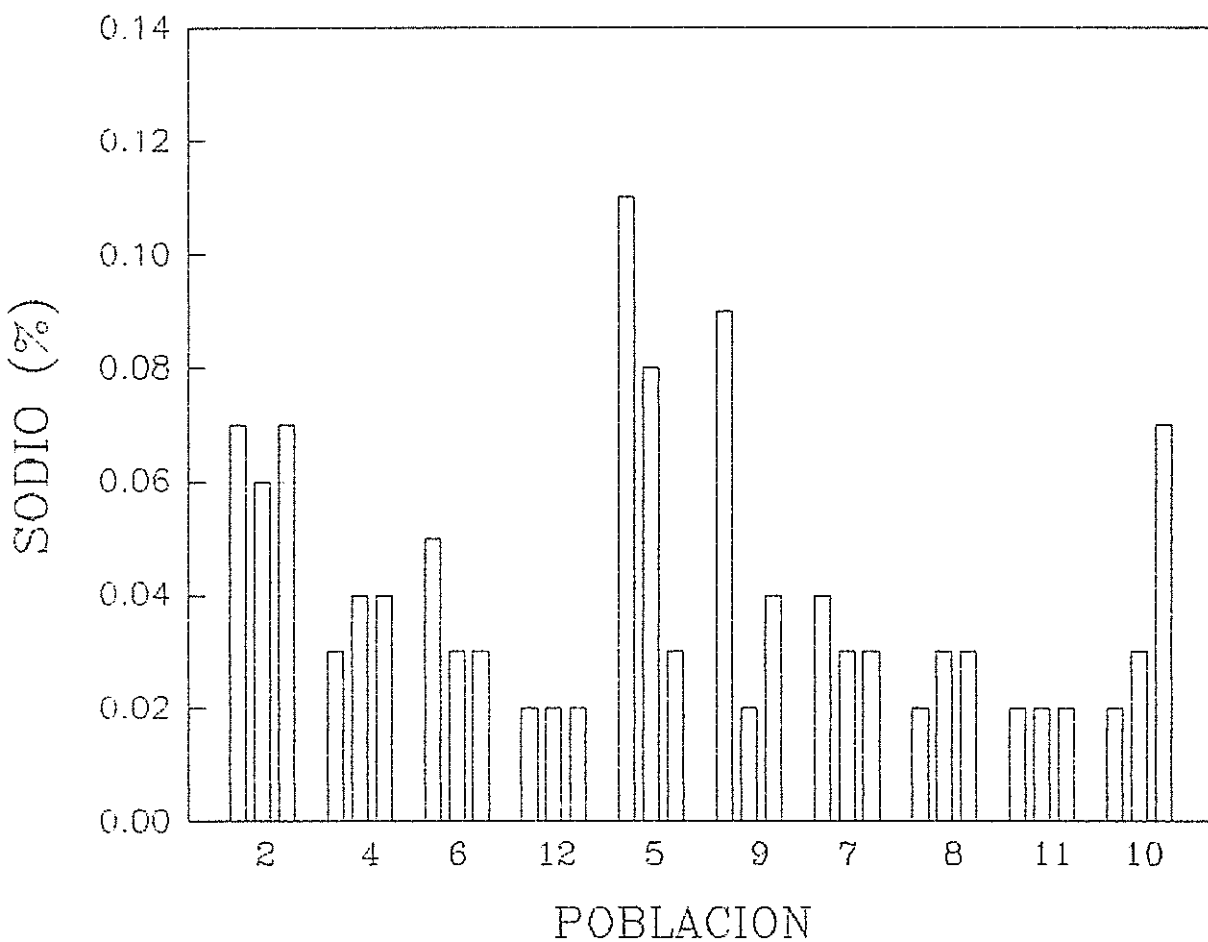


El contenido de magnesio entre las poblaciones de *Rhododendron* no presenta muchas diferencias (gráfica 9), los valores se encuentran entre 0.23 y 0.33%, con excepción de la población 5 en la cual se observa que los únicos valores por encima de 0.03 son para el individuo 2 con 0.50% (El más alto) y para el individuo 3 con 0.44%.

Los valores mínimos solo alcanzan 0.23%, ejemplo, el individuo 2 de la población 4; 11 individuo 1 de la población 7 y el 2 de la población 9.

#### Sodio:

El sodio es absorbido por las plantas en un variado grado dependiendo de las especies. El sodio puede tener algunas veces un efecto beneficioso sobre las plantas, puede parcialmente reemplazar al K en su papel osmótico y en el mantenimiento de la turgencia, estos efectos son mayores cuando el suministro de K es inadecuado.



Gráfica 10. Contenido en Na (%) y poblaciones de *Rhododendron*.  
 Los contenidos en este macronutriente fueron bajos. El más alto se presenta en el individuo 1 de la población 5, el más bajo para los individuos de las poblaciones 12 y 11.





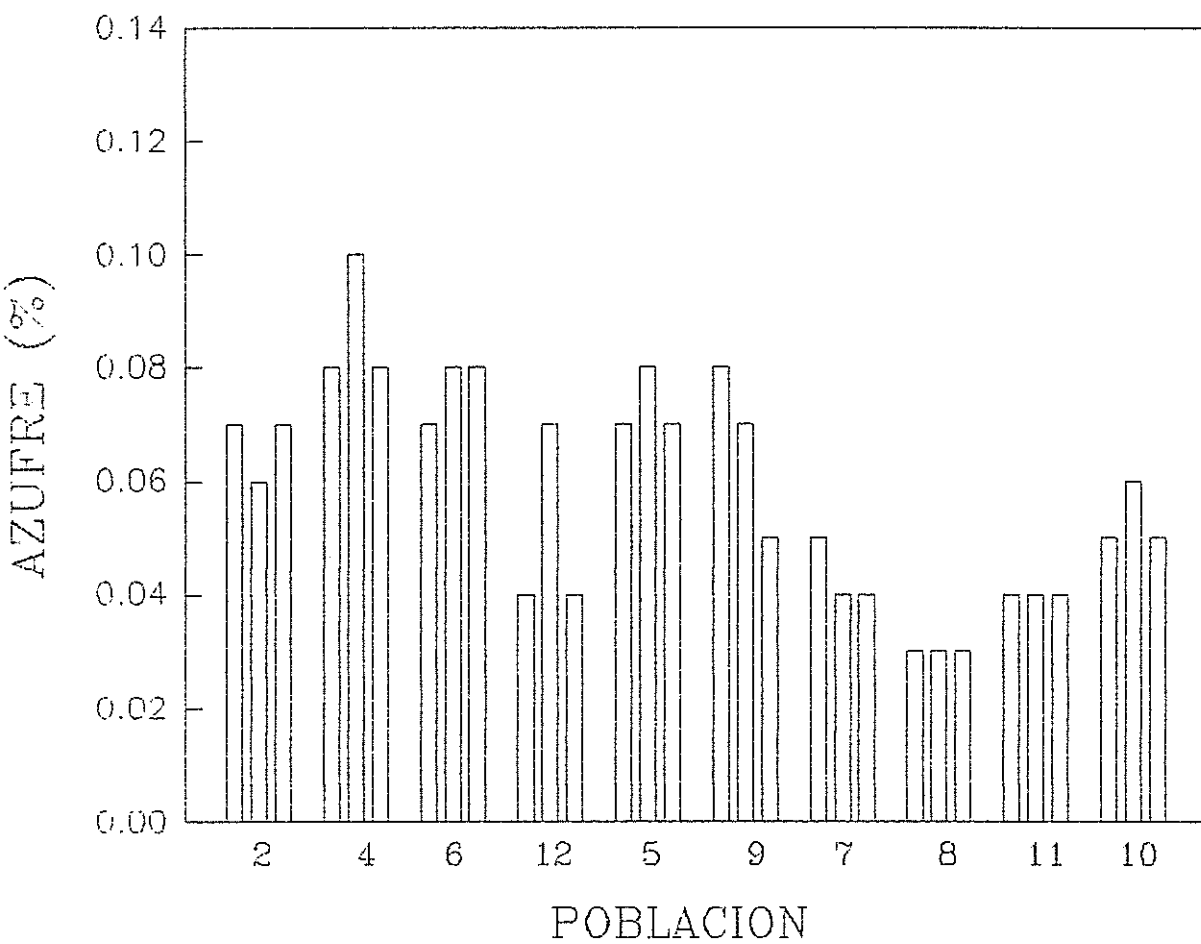
En la gráfica 10 se encuentra representado el porcentaje de Na en cada una de las poblaciones de *Rhododendron*, podemos observar que el individuo uno de la población 5 presenta el valor más alto de Na con 0.11%, seguido del individuo 1 de la población 9 con 0.09%.

Los valores más bajos lo presentan las poblaciones 12 y 11 ambas con 0.02%.

La diferencia más grande en el porcentaje de sodio se encuentra en la población 5 con 0.11, 0.08 y 0.03% en los individuos 1, 2 y 3 respectivamente; y en la población 9 con 0.09, 0.02 y 0.04% en los individuos 1, 2 y 3 respectivamente (tabla 3). En general los valores de porcentaje de sodio fueron bajos.

#### Azufre:

El azufre es absorbido de la solución del suelo como sulfato, y puede también ser asimilado del dióxido de azufre presente en la atmósfera. Una gran proporción del azufre es entonces reducido de sulfato a sulfuro, que es incorporado en los aminoácidos: cisteína, cistina y metionina.



Gráfica 11. Contenido en S (%) y poblaciones de *Rhododendron*.  
 El contenido más alto en azufre se encuentra en el individuo 2 de la población 4, el más bajo lo presenta la población 8.

El azufre reducido está también presente en algunas coenzimas, incluyendo biotina, tiamina y coenzima A, que son esenciales para el metabolismo cuando son adheridas a apoenzimas apropiadas. Las proteínas son la forma en que mucho del azufre y el nitrógeno son almacenadas en las plantas.

El contenido de azufre en las poblaciones de *Rhododendron* no presenta mucha variabilidad, los contenidos oscilan entre 0.03 y 0.08%, a excepción del individuo 2 de la población 4 cuyo valor es de 0.10% constituyéndose en el valor más alto (tabla 3 y gráfica 11).

Los individuos de la población 8 tienen los valores más bajos de azufre: 0.03%.

La población 4 presenta los valores totales más altos en azufre, el pH del suelo para esta población fue 5.3, la CE 0.18ds/m y el potasio disponible 1.16ppm (normal).

#### 4.3.2.- Contenido en micronutrientes:

Los micronutrientes se encuentran en pequeñas cantidades en la planta y se expresan en ppm. Muchos de los micronutrientes son predominantemente constituyentes de moléculas de enzimas.

##### Cobre:

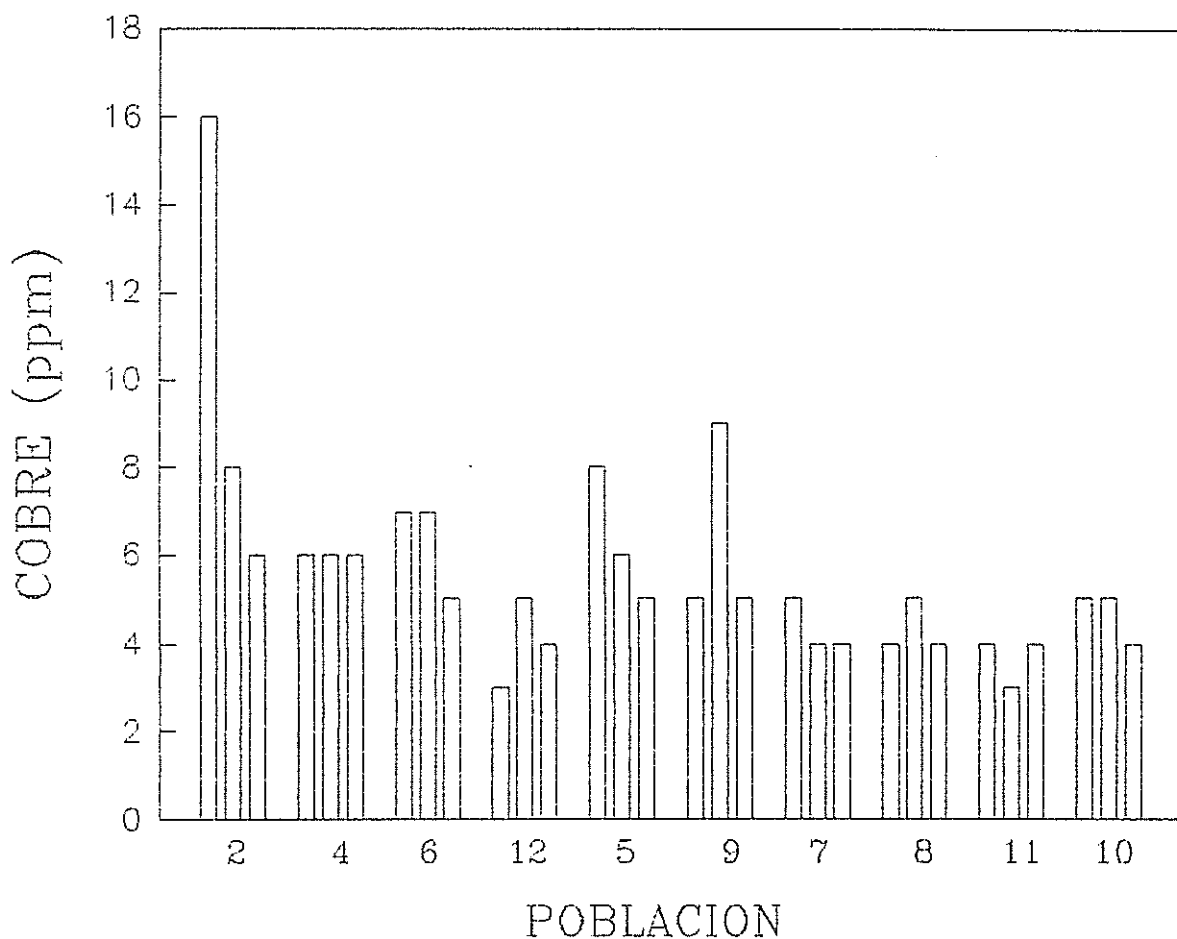
Es un constituyente esencial de un grupo de enzimas conocidas como oxidasas y participa en sistemas enzimáticos redox, siendo además móvil en la planta.

En el análisis realizado, el cobre presenta el valor medio más alto en el individuo 1 de la población 2 con 16 ppm, en esta población encontramos la mayor variabilidad de ppm de cobre (gráfica 12). El individuo 2 de la población 9 tuvo un valor de 9ppm.

El contenido más bajo de cobre lo tienen los individuos 1 y 2 de las poblaciones 12 y 11 respectivamente ambos con 3ppm (tabla 4).

Tabla 5. Contenido en micronutrientes.

Muestra	Indiv	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Al
		(ppm)					
1	1	5	89	590	9	30	196
	2	8	105	603	14	34	233
	3	6	92	960	15	51	269
1v	1	5	109	325	11	34	290
	2	5	131	180	10	26	300
	3	7	127	456	14	40	299
2	1	16	205	564	22	31	316
	2	8	105	987	21	34	231
	3	6	123	456	13	36	236
2v	1	6	133	295	12	34	278
	2	5	100	372	14	34	224
	3	6	125	332	15	27	264
4	1	6	104	515	17	39	229
	2	6	96	264	16	26	172
	3	6	110	439	17	27	214
5	1	8	130	506	16	51	253
	2	6	92	238	17	59	207
	3	5	61	358	16	40	152
6	1	7	70	321	10	47	185
	2	7	59	268	10	33	132
	3	5	58	162	10	46	171
7	1	5	66	49	12	30	166
	2	4	57	345	12	30	109
	3	4	68	145	13	26	175
8	1	4	46	124	15	44	79
	2	5	74	297	17	49	154
	3	4	53	137	12	54	101
9	1	5	73	523	15	27	156
	2	9	51	292	16	30	84
	3	5	70	365	13	70	159
10	1	5	59	339	13	41	133
	2	5	55	220	16	44	109
	3	4	75	451	13	46	154
11	1	4	49	134	14	26	146
	2	3	50	169	11	30	139
	3	4	49	431	14	54	164
12	1	3	49	160	10	40	88
	2	5	76	177	10	44	235
	3	4	49	154	10	39	124



Gráfica 12. Contenido en Cu (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. En general los valores fueron bajos y sin mucha diferencia. El valor más alto en Cu lo presenta el individuo 1 de la población 2, el valor más bajo se presenta en los individuos 1 y 2 de las poblaciones 11 y 12 respectivamente.

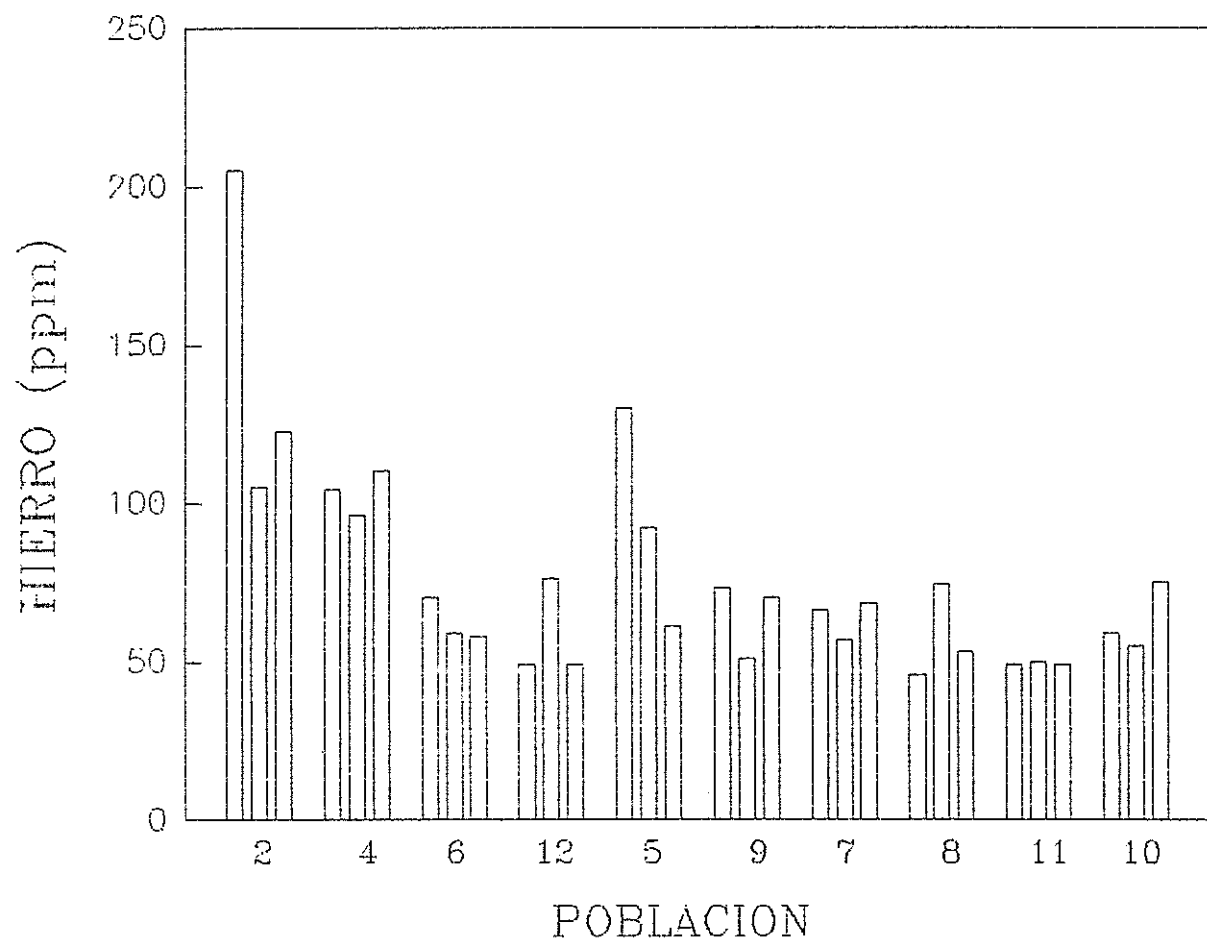
## Hierro:

El hierro es un constituyente de las proteínas hémicas y no hémicas involucradas en la fotosíntesis y fijación de N. También intervienen en procesos de óxido-reducción y en la activación de enzimas. Puede ser absorbido en forma de quelatos, siendo ésta la forma en que se transporta a través de la planta.

Los contenidos de hierro están entre 46ppm (mínimo) y 205 ppm (máximo), correspondiendo el primero al individuo 1 de la población 2 y el segundo al individuo 1 de la población 8 (tabla 4). También encontramos otros valores altos por ejemplo en el individuo 1 de la población 5 (130 ppm), individuo 3 de la población 2 (123 ppm), individuo 3 población 4 (110 ppm), individuo 2 población 2 (105 ppm) e individuo 1 población 4 (105 ppm). Para los demás individuos los valores no fueron muy altos.

Los individuos de las poblaciones 2 y 5 presentaron las mayores diferencias (gráfica 13).





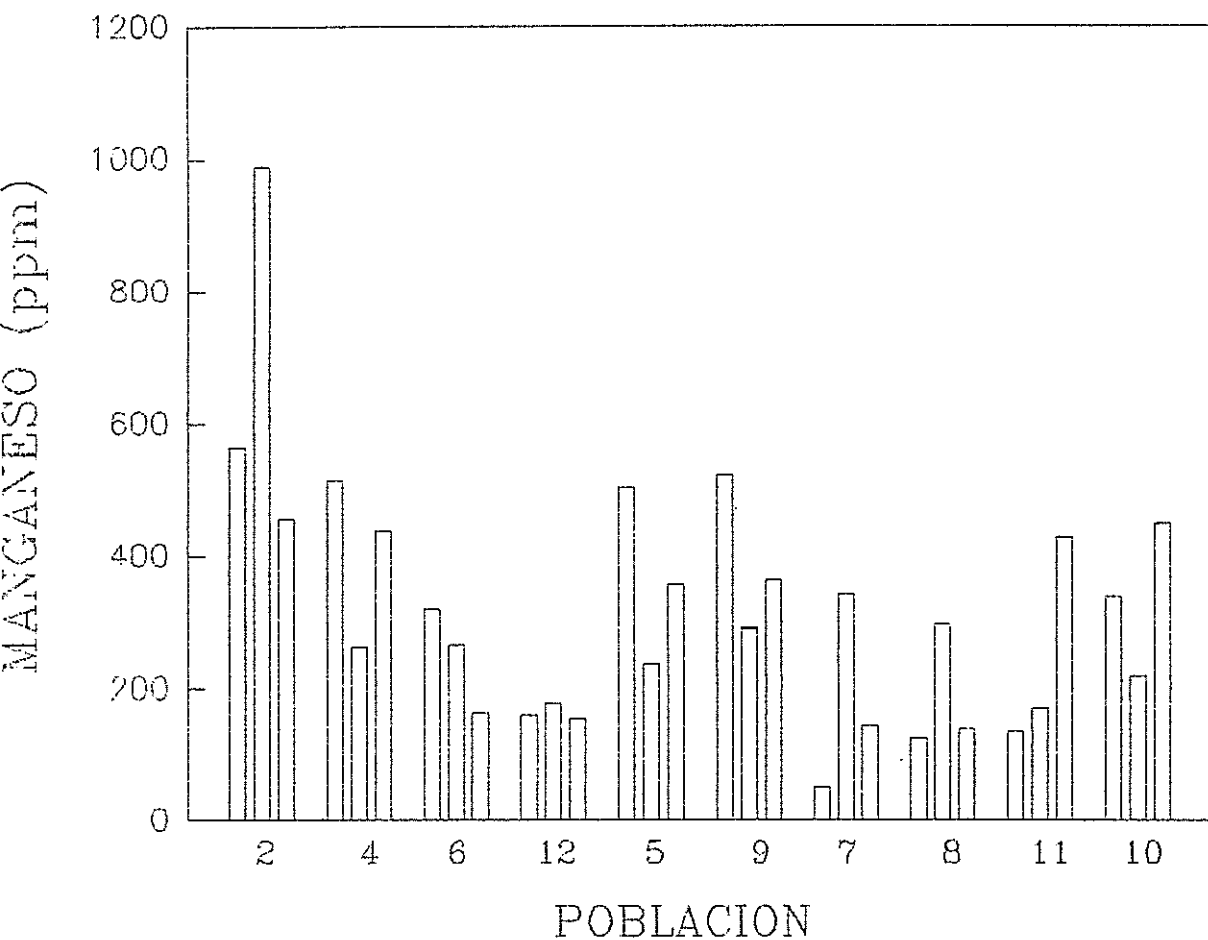
Gráfica 13. Contenido en Fe (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. Los valores fueron bajos para este micronutriente. El valor más alto correspondió al individuo 1 de la población 2 y el más bajo al individuo 1 de la población 8.

## Manganeso:

El manganeso actúa como un activador de enzimas e interviene en procesos de oxido-reducción y en la fotólisis del agua.

En el análisis de las hojas el contenido de Mn presenta una gran diferencia entre las poblaciones (gráfica 14), existen valores que van desde 49 ppm (es el más bajo y corresponde al individuo 1 de la población 7) y 987 ppm (el más alto que pertenece al individuo 2 de la población 2). (Tabla 4).

También encontramos otros valores como 564 ppm en el individuo 1 de la población 2; 523 ppm en el individuo 1 de la población 9; 515 ppm en el individuo 1 de la población 4; 506 ppm para el individuo 1 de la población 5.



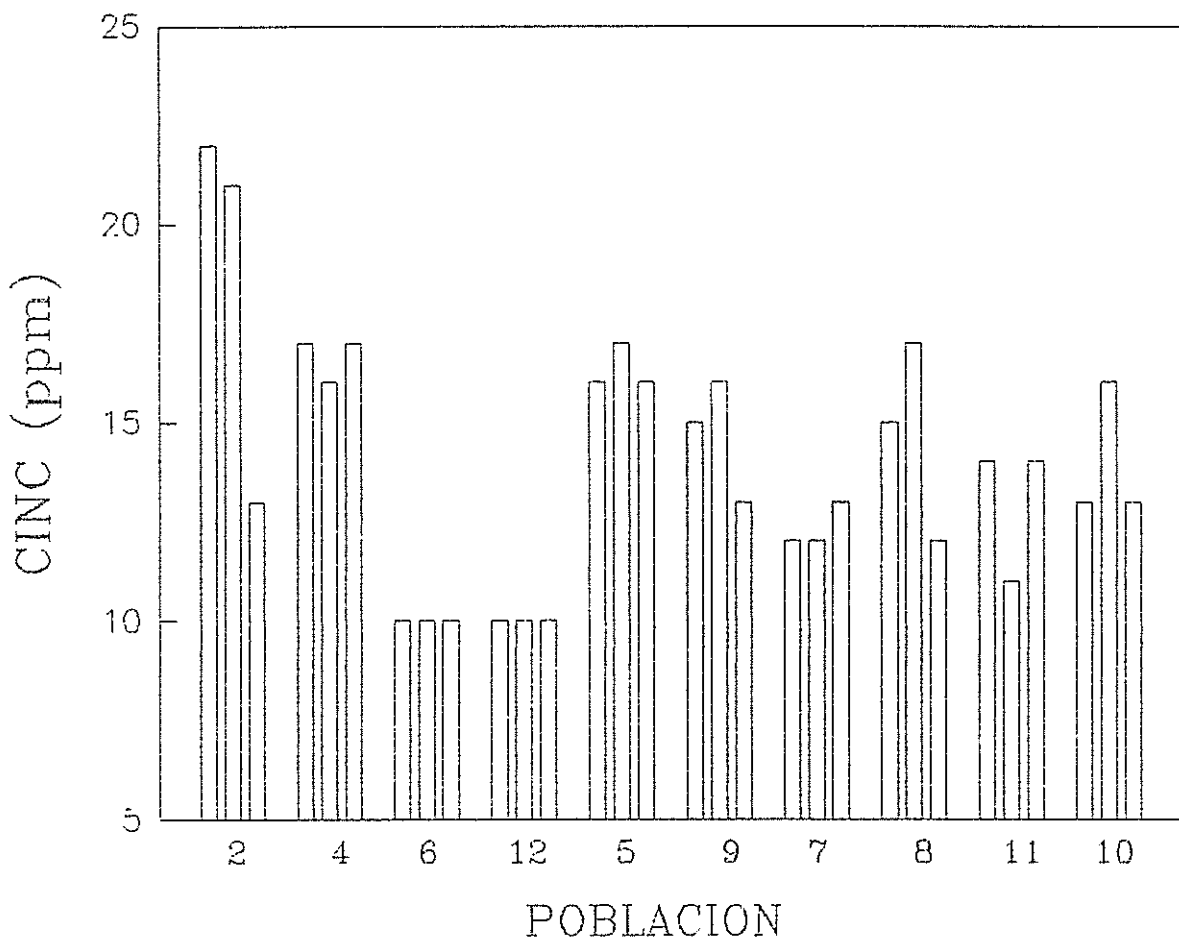
Gráfica 14. Contenido en Mn (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. Se observan diferencias en los valores en el contenido de Mn en las hojas. Los valores fueron altos. En general los valores fueron altos. SE presenta el valor más alto en el individuo 2 de la población 2 y el más bajo en el individuo 1 de la población 7.

## Cinc:

El cinc forma parte de los distintos sistemas enzimáticos (incidiendo probablemente en la fijación del N atmosférico por las leguminosas); es también un elemento con buena movilidad. Su transporte es principalmente a través del xilema. En las plantas el cinc no es oxidado o reducido; su función como un mineral nutriente está basado primariamente en sus propiedades como un catión divalente con una fuerte tendencia a formar complejos tetraivalentes.

El contenido de cinc en las poblaciones no presenta mucha variabilidad; los valores más altos los hallamos en los individuos 1 y 2 de la población 2 (gráfica 15) con valores de 22 y 21 ppm respectivamente (tabla 4), en esta población hay la mayor diferencia en el contenido de cinc.

Los individuos de las poblaciones 6 y 12 presentan 10 ppm de cinc (tabla 4), estos son los valores más bajos encontrados.



Gráfica 15. Contenido en Zn (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. El contenido más alto en Zn se encuentra en el individuo 1 de la población 2 y el más bajo en los individuos de las poblaciones 6 y 12.

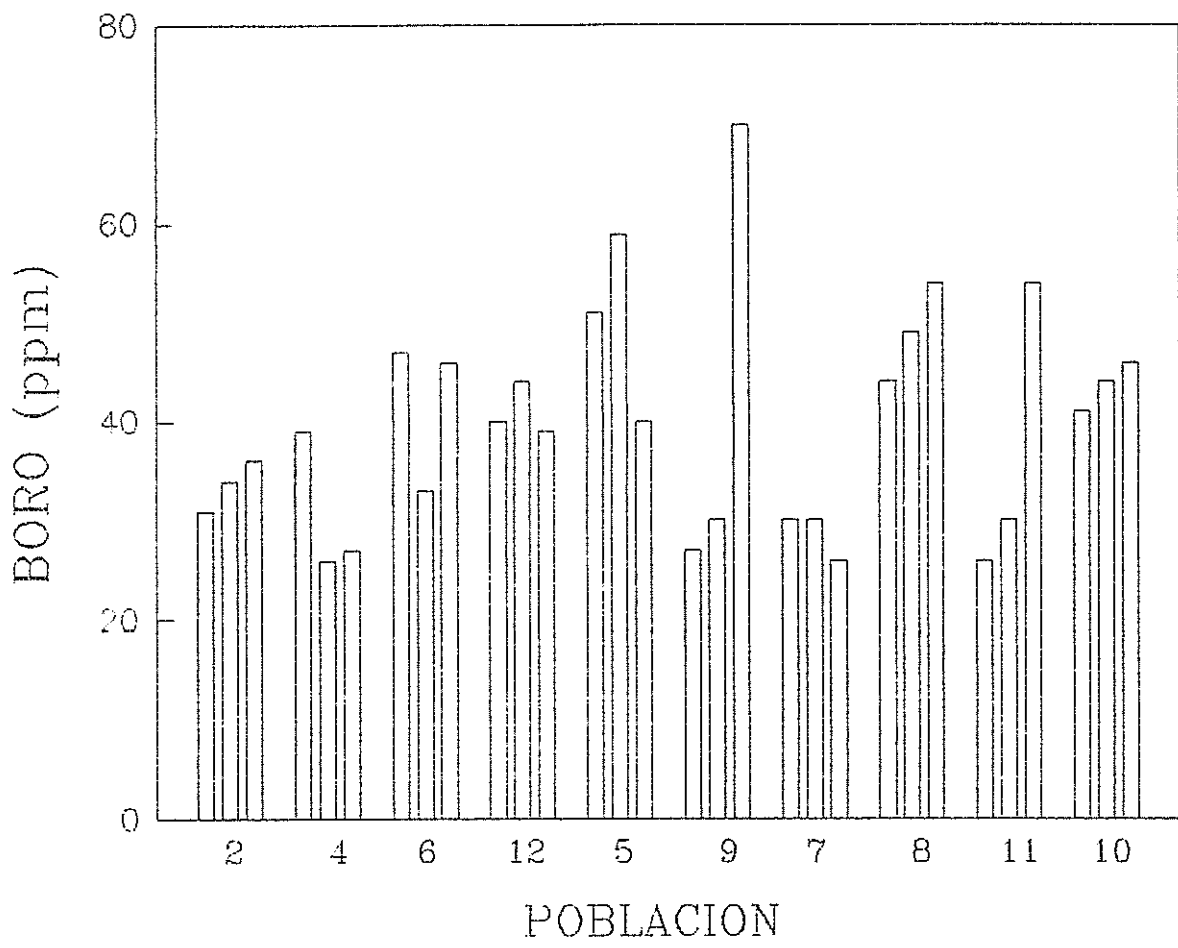
## Boro:

El boro es fuertemente complejado por los constituyentes de la pared de la célula aún en las raíces (Thellier et al., 1.979), y el tamaño de esta fracción refleja diferencias genotípicas en los requerimientos de boro por las plantas.

Una de las funciones atribuidas al boro, desde hace años es la de promover la absorción y utilización de los macronutrientes de tipo catiónico y en especial la del calcio, los primeros en atribuir tal función al boro fueron Brinchley y Warrington (1.927).

Los resultados obtenidos de los análisis muestran que el individuo 3 de la población 9 tiene un contenido en boro de 70 ppm siendo este el valor más alto (tabla 4). El individuo 2 de la población 5 también presenta un valor alto en boro de 59 ppm.

El contenido más bajo de boro se encuentra en los individuos 2, 3 y 1 de las poblaciones 4, 7 y 11 respectivamente con un valor de 26 ppm.



Gráfica 16. Contenido en B (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. El contenido más alto correspondió al individuo 3 de la población 9 y el más bajo a los individuos 2, 3 y 1 de las poblaciones 4, 7 y 11 respectivamente.

Se puede notar que en la población 9 existe una mayor diferencia en el contenido de boro entre los individuos (gráfica 16).

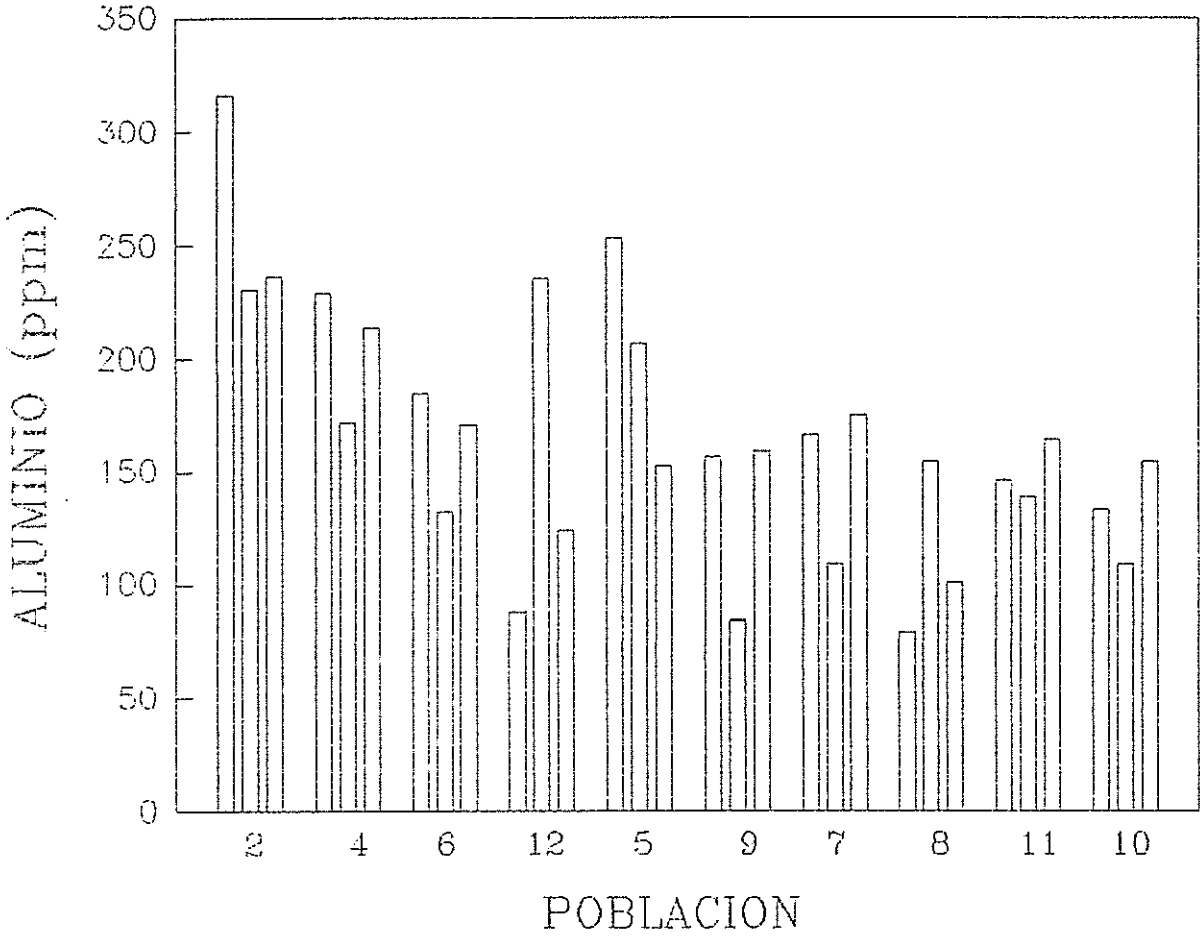
#### Aluminio:

Parece ser que bajas concentraciones de aluminio en el suelo o en la solución nutriente, estimulan el crecimiento (Bolland 1.983 y Foy 1.983). Bajo ciertas condiciones y en especies y genotipos con alta tolerancia al aluminio, bajos niveles de aluminio pueden tener efectos beneficiosos en el crecimiento de plantas altas.

El contenido de este micronutriente presenta variabilidad tanto entre las especies como en cada una de ellas (gráfica 17).

El mayor valor en el contenido de Al se observa en el individuo uno de la población 2 con 316 ppm; otro individuo que presenta un valor alto es el 1 de la población 5 con un contenido en aluminio de 253 ppm.





Gráfica 17. Contenido en Al (ppm) y poblaciones de *Rhododendron*. El valor más alto en Al se encuentra en el individuo 1 de la población 2 y el más bajo en el individuo 1 de la población 8. En general estos valores fueron altos.

Los valores en el contenido de aluminio se encuentran en general entre 79 ppm ( que es el valor más bajo y corresponde al individuo 1 de la población 8) y 316 ppm. (tabla 4).

## 5.- CONCLUSIONES.

1.- Los valores de área foliar específica suelen ser bastantes altos en estas plantas, al igual que el valor peso fresco/peso seco; lo que nos podría indicar la cantidad de agua que estas plantas pueden absorber, esto puede ayudar a mejorar las funciones de síntesis y transporte de las sustancias que las plantas toman de la solución del suelo y tolerar las deficiencias y toxicidades que se presentan como resultado de bajas y altas concentraciones de nutrientes en estos suelos ácidos.

2.- En las poblaciones 9 (individuo 1) y 12 (individuo 1) se registraron el más alto y más bajo valor en peso fresco/peso seco y área foliar específica respectivamente; el contenido de potasio disponible del suelo fue muy alto para la población 9 y alto para la población 12; la población 9 no presenta valores importantes en el contenido total de los nutrientes.

3.- La población 3 que presenta el valor de peso fresco, peso seco y área foliar más bajo en el individuo 1, mostró también para los otros individuos valores bajos en estos parámetros.

4.- La solubilidad de los elementos en la solución del suelo depende de diferentes factores como características físico-químicas de iones en la solución, del pH, potencial redox y la acción de complejantes orgánicos.

5.- En general los suelos en que se encuentran estas poblaciones de Rhododendron presentan un pH ácido (excepción de la población 2), pobres en nutrientes.

6.- Para la mayoría de los elementos se presentan deficiencias o altas concentraciones.

7.- El exceso de Mn presente en las hojas de Rhododendron disminuye la absorción de Fe y causando deficiencias de éste (debido a que el Mn interacciona en las plantas especialmente con el Fe). Las condiciones redox y el aumento del pH afectan la solubilidad de estos elementos.

8.- La población 2 presentó los valores más altos en P, K y Na, el contenido en nitrógeno aunque no fue el valor más fue el más notable; para el calcio presentó los valores más bajos. En esta población igualmente se observó los contenidos más altos an cuanto a los siguientes micronutrientes: Cu, Fe, Mn, Zn y

Al, así mismo encontramos que, presentó el valor más alto en peso fresco/peso seco, área foliar específica de las poblaciones analizadas. El pH de esta población fue 6.2. El potasio disponible para el suelo de esta población fue normal (presentó el valor más alto en K).

9.- La población 12 tuvo los contenidos más bajos en macronutrientes como N, P, K y Na y un contenido alto en Ca; también presentó contenidos bajos en Mn y Zn; el peso fresco/peso seco y área foliar específica fueron igualmente bajos. El K disponible del suelo fue alto.

10.- El contenido de Al en las poblaciones de Rhododendron en general fue alto. En las poblaciones 4 y 9 que presentaron un pH de 5.3 (el más bajo) el contenido de aluminio fue de 205 y 133ppm respectivamente. Para estas mismas poblaciones el contenido de fósforo se puede decir que fue bajo de 0.05 y 0.04ppm (población 4 y 9). A pesar de que los contenidos en aluminio fueron altos estas poblaciones pueden estar afectadas por un exceso de aluminio, sin embargo no se puede descartar la posibilidad de que los síntomas de toxicidad que presentan sean debido más que todo a un exceso de manganeso.

## BIBLIOGRAFIA.

- Adams F, Rawajfith 2 (1977). Basaluminite and alunite: a possible cause of sulfate retention by acid soils. Soil Sci Am J 41: 686-692.
- Alexander M (1980). Effects of acidity in microorganisms and microbial in soils. In: Hutchinson T, Havas M (eds). Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press, NY.
- Adams F, Martin JB (1984). Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: Hauck RD (ed) Nitrogen in crop production. Am Soc Agron, Madison, Wisconsin.
- Andrew CS (1978). Mineral characterization of tropical forage legumes. In: Andrew CS, Kamprath EJ (eds) Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. CSIRO, East Melbourne, Australia.
- BLANCO, Rafael; CLAVERO Juan; CUELLO Agustín; MARAÑÓN Teodoro y SEIS DEDOS José. 1991. Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar. Guías naturistas de la Provincia de

Cádiz.III. Diputación Provincial de Cádiz.

COBERTERA LAGUNA, Eugenio. 1.993. Edafología Aplicada. Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales. Catedra. Madrid. 1.993.

Chang ML, Thomas GW (1963) A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. Soil Sci Soc Am Proc 27: 281-283.

DOUCHAFOUR, Philippe y SOUCHEIER, Bernard. 1987. Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo. Masson.

CROSS, J.R. 1975. Biological Flora Of the British Isles. *Rhododendron ponticum* L. Journal of Ecology, 63:345-346.

Munns Dn (1978) legumes-rhizobium relations. In: Andrew CS, Kamprath EJ (eds). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. CSIRO, East Melbourne, Australia.

PINTA, M. Spectrométrie d'absorption Atomique. Applications a l'Analyse Chimique. Vol.2, Masson et Cie. Paris.

PINTA, M Y Miembros del Comité Inter-Institutos para el estudio de las técnicas analíticas de diagnóstico foliar. 1969. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux: N, P, K, Na, Ca, Mg.

PRAT PEREZ, L. 1981. Importancia de la reacción del suelo. I.O.A.T.O. Excma Diputación Provincial. Salamanca.

PUBLICACIONES DEL PATRONATO DE REACTIVACION PROVINCIAL. 1988. Estudio agrobiológico de la Provincia de Cádiz. Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del C.S.I.C. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto Sevilla.

RUSSELL'S. 1973. Soil Conditions & Plant Growth. Ed 11. Langman Scientif & Technical.

W. PEARSON, Robert y ADAMS, Fred. 1967. Soil Acidity and Liming. American Society of Agronomy, Inc.