

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL

T
16
22

**CARACTERIZACION DEL
METABOLISMO MINERAL
DE ALGUNAS ESPECIES DE
GIPSOFITOS**

JUAN JOSE ALVARADO GUERRI

TESIS DOCTORAL

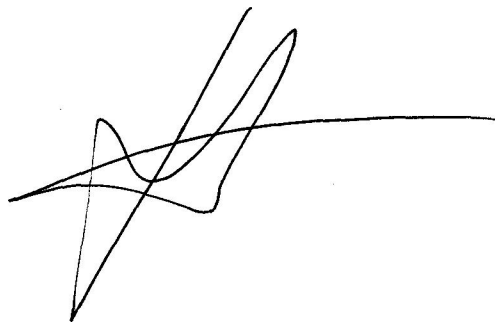
GRANADA, 1995

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA
Nº Documento <u>019678939</u>
Nº Copia <u>121226702</u>

PROV. T-15/89

UNIVERSIDAD DE GRANADA
Facultad de Ciencias
Fecha ... 26.05.95
ENTRADA NUM. ... 1217

El presente trabajo de investigación titulado "**Caracterización del Metabolismo Mineral de Algunas Especies de Gipsosfitos**", se presenta para aspirar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas por el licenciado: Juan José Alvarado Guerri. El análisis de suelos ha sido realizado en el Departamento de Edafología, Universidad de Almería mientras que, el estudio fisiológico se ha llevado a cabo en el Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, bajo la dirección del Profesor Dr. Luis Maria Romero Monreal.



Dr. Luis Mª Romero Monreal
Director de la Tesis

Granada, Febrero de 1995



INDICE

Objetivo de la Investigación.....	1
Introducción	
1. La nutrición mineral en plantas no cultivadas.....	3
1.1.- Aspectos generales.....	3
1.2.- Respuesta a un status bajo de nutrientes.....	4
1.3.- Qué ocurre con las especies silvestres y suelos de fertilidad limitada.....	5
1.4.- Ciclos estacionales de nutrientes.....	5
1.5.- Longevidad foliar.....	5
1.6.- Tasa de crecimiento y consumo de lujo.....	6
1.7.- Concentración de nutrientes y eficacia en su uso.....	7
1.8.- Almacenamiento y ciclo anual de nutrientes.....	7
1.8.1.- Especies no anuales de hoja caduca.....	7
1.8.2.- Especies no anuales de hoja perenne.....	8
1.9.-Estrategias.....	8
2.- Plantas calcícolas y calcifugas. Los fisiotipos y los problemas de adaptación a la aridez.....	10
3.- El problema de los yesos y la vegetación relacionada.....	13
4.- Especies vegetales.....	15
5.- Medio físico de la area de estudio. El biotipo.....	17
5.1.- Localización.....	17
5.2.- El biotipo.....	17
5.2.1.-Geología.....	17
5.2.2.- El clima.....	17
5.3.- Vegetación.....	18
5.3.1.- Vegetación propia de los yesos.....	18
5.3.2.- Serie de vegetación.....	19
Material y Metodos	
1.- Suelos.....	20
1.1.- Toma de suelos.....	20
1.2.- Muestreo de la rizosfera.....	20
1.3.- Preparación de las muestras.....	20
1.4.- Análisis de las muestras.....	20
2.- Comunidades vegetales.....	23
2.1.- Toma de muestras.....	23

3.-Plantas.....	24
3.1.- Fenología de las Plantas muestreadas.....	24
3.2.- Toma de las muestras.....	24
3.3.- Material vegetal fresco.....	24
3.4.- Material vegetal seco.....	26

Resultados y Discusión

1.- Análisis de la comunidad vegetal.....	30
2.- Análisis de los suelos.....	36
2.1.- Suelos pobres en yeso.....	36
2.2.- Suelos ricos en yeso.....	42
2.3.- Discusión.....	46
3.- Análisis de las plantas.....	49
3.1.- Calcio, formas y fracciones.....	49
3.2.- Magnesio, formas y fracciones.....	55
3.3.- Sodio y Potásio.....	59
3.4.-Azufre.....	64
3.5.- Nitrógeno y sus formas.....	69
3.6.- Fósforo y sus formas.....	74
3.7.- Cloruros y Boro.....	76
3.8.-Pigmentos foliares.....	77
3.9.- Carbohidratos estructurales, prolina y peso seco.....	79
3.10.- El balance iónico.....	83
Conclusiones.....	84
Bibliografía.....	85

Conocer los objetivos

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION.

El campo de investigación de la nutrición vegetal raras veces ha rebasado los límites de las especies cultivadas. Sin embargo, es posible que sea el estudio de la nutrición de las plantas silvestres el que suministre la base para una mejor comprensión de los mecanismos de adaptación de las plantas, y permita una explotación más efectiva de territorios de diferente fertilidad. Así, podemos mencionar cuestiones de tanto interés como los endemismos ligadas a sustratos especiales (dolomías, serpentinas, yesos, por ejemplo), o la amplia división de las especies en calcícolas y calcifugas, o acidófilas y basófilas, así como la capacidad de las plantas para sobrevivir a épocas y ambientes adversos (sequía, salinidad, infertilidad...), etc. Éstos serían conocimientos esenciales en la agricultura, pero también para la determinación de los modelos ecológicos y evolutivos de los vegetales.

Un grupo de plantas que ha merecido relativamente poca atención por parte de los fisiólogos vegetales es el de los endemismos gipsícolas. El adjetivo gipsícola se emplea para designar a las plantas propias de los suelos ricos en yeso, y para cada uno de estos táxones se debe usar el nombre sustantivo de gipsófitos (Rivas-Martínez y Costa, 1970). Existen gipsófitos estrictos y facultativos. Gipsófitos facultativos o plantas gipsóvagas serían las plantas que aparecen con frecuencia sobre sustratos yesíferos, pero no son exclusivas de éstos. Estas plantas caracterizan comunidades que se incluyen en el orden fitosociológico Gypsophiletalia, y se ha observado la importancia de un régimen climático árido o semiárido para su presencia. Sin embargo, son pocos los estudios existentes sobre la naturaleza química del yeso como elemento nutricional decisivo en su distribución, sus relaciones hídricas con el medio y el valor del ión Ca^{2+} en su metabolismo, tan abundante en la solución del suelo, quizás como regulador osmótico de cierta eficacia.

Por consiguiente, se creyó de interés investigar un grupo de plantas adaptadas a los sustratos ricos en yesos del sudeste árido de la Península Ibérica, donde concurrían una serie de factores interesantes:

1. Se trata de especies endémicas, la mayor parte ligadas a estos sustratos especiales, de modo que no se observan fuera de los mismos.

2. Son medios muy áridos, donde las plantas soportan fuertes tensiones hídricas. Es más, sólo cuando yesos y aridez se dan simultáneamente, aparece una vegetación gipsófila diferenciada.

3. El yeso es un sustrato peculiar desde el punto de vista tanto físico (higroscopia), como químico (salinidad, extraordinaria abundancia del ión calcio en el extracto de saturación, mucho más que en cualquier suelo calizo dado su mayor solubilidad), lo cual podría tener influencia en la fuerte selección ejercida sobre las comunidades vegetales.

Para nuestra investigación, hemos escogido cinco especies de plantas que viven habitualmente en estos medio yesíferos. Sólo una de ellas, Helianthemum lavandulifolium no es un gipsófito, pues tiene una distribución mucho más amplia, caracterizando los matorrales de caméfitos, romerales y tomillares de amplias zonas de alrededor. Gypsophila struthium, Helianthemum squamatum, Helianthemum alypoides, y Lepidium subulatum, por el contrario, se consideran gipsófitos estrictos (Rivas-Martínez y Costa 1970), esto es, su área de distribución se encuentra limitada a aquellos suelos ricos en yeso o a los inmediatamente adyacentes y afectados por su contaminación. Si esta distribución característica está condicionada fisiológicamente, es decir, por la presencia o ausencia de algún factor edáfico, presumiblemente nutricional, necesario para su subsistencia, o si bien responde a causas de índole ecológico, tratándose de plantas que, por fenómenos de competencia, se ven desplazadas de otros sustratos más aptos para el desarrollo vegetal, es algo difícil de concluir.

Nuestros muestreos se llevaron a cabo en dos sustratos netamente diferenciados. El primero de ellos es un suelo poco evolucionado sobre la roca madre de yeso, poco profundo, muy rico en iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} , que representa la ecología típica donde las plantas gipsícolas prosperan. El otro es un suelo profundo, muy evolucionado, que ha sufrido un fuerte lavado de sales, situado en los llanos y depresiones ligeramente cóncavas que se extienden junto al anterior, representando el límite de la ecología de estas plantas. En el primer suelo crece y se desarrolla la comunidad de plantas que se define como madura y estable, en equilibrio con las condiciones del medio. El número de especies de caméfitos que la caracterizan son apenas de diez a quince plantas distintas, que constituyen casi toda la diversidad vegetal. Aproximadamente la mitad o más de estas plantas se consideran gipsófitos estrictos: Gypsophila struthium, Helianthemum alypoides, Helianthemum squamatum, Ononis tridentata, Lepidium subulatum, Santolina viscosa, Teucrium turretanum y Coris hispanica (para más datos sobre este tipo de comunidades ver Rivas Goday 1956, Rivas-Martínez y Costa 1970). En cuanto al segundo tipo de suelos, normalmente son cultivos abandonados sobre los que prospera una vegetación nitrófila, especialmente rica en especies del género Artemisia y Thymelaea hirsuta, entre las que crecen algunas plantas gipsícolas, constituyendo la frontera de su ecología natural. Más allá, por las grandes extensiones de matorral que prosperan sobre margas y rocas calizas, no es posible encontrar ninguno de estos táxones.

El objetivo del trabajo ha sido establecer las diferencias fundamentales de ambos tipos de suelo y de las plantas instaladas sobre ellos, a lo largo de varios muestreos. Con la ayuda de algunas técnicas estadísticas de correlación y de análisis de la varianza, hemos buscado las características y diferencias nutricionales y fisiológicas que permitirían explicar su peculiar adaptación y caracterizar su fisiotipo.

INTRODUCCION

1. LA NUTRICIÓN MINERAL EN PLANTAS NO CULTIVADAS.

A continuación, expondremos algunos conceptos básicos de nutrición vegetal, haciendo especialmente hincapié en los aspectos que atañen a las plantas silvestres, y sus adaptaciones a medios que serían stresantes, hostiles o infértiles para las plantas cultivadas, o adaptadas a ambientes más mésicos (Chapin, 1980).

1. Aspectos generales.

En las plantas, la tasa de absorción de la raíz depende del suministro de nutrientes a la superficie radical, y de la capacidad de absorción activa por parte de las células corticales.

A su vez, el suministro de nutrientes a la raíz, depende de:

- La concentración de la solución del suelo.
- La capacidad amortiguadora del suelo. Esto es, su capacidad de reponer los nutrientes a medida que son absorbidos.
- Velocidad con que los nutrientes se desplazan hacia la raíz en la solución del suelo, por difusión o flujo de masas.

N, P y K suelen estar tan diluidos en la solución del suelo que el flujo de masas -consecuencia de las pérdidas de agua de la planta por transpiración-, no suministra más que una pequeña parte del total de los requerimientos del vegetal. Por ello estos elementos se mueven hacia la superficie radical principalmente por difusión. Puesto que su capacidad de adsorción a las partículas del suelo es muy grande (Fosfatos>>Amonio>>Potasio), la difusión suele ser el factor limitante principal en los procesos de absorción por la raíz, mucho más que la propia capacidad de absorción de la planta (Nye, 1977, Nye y Tinker, 1977).

Otros cationes, muy móviles, fluyen rápidamente, acumulándose a menudo alrededor de la raíz, cuando el suministro excede a la absorción. La absorción activa por las raíces, o la acumulación pasiva a favor de las corrientes de transpiración suelen ser los factores limitantes. por ello, estos elementos limitan el crecimiento de la planta sólo a concentraciones muy bajas en la solución del suelo, o cuando las raíces absorben la mayor parte del N como NH_4^+ , provocando un desequilibrio de cargas (Haynes y Goh, 1978).

La capacidad de absorción radical difiere entre especies y variedades, siendo entre el 35 y el 70 % hereditaria. Las variedades y especies que tienen una tasa de crecimiento relativo baja suelen tener una relación raíz/tallo alta, junto con una baja capacidad de absorción. Esta capacidad de absorción depende de la concentración de la solución externa. Una alta disponibilidad de nutrientes suele conducir a su acumulación en la planta, en cantidades superiores a las inmediatamente necesarias para el crecimiento. Es el consumo de lujo. Además, la tasa de absorción de un nutriente depende frecuentemente de la concentración de otros en la solución del suelo y en la planta. Por ejemplo, las especies que normalmente absorben el N como NO_3^- , donde se incluyen la mayoría de los cultivos, no pueden absorber una cantidad adecuada de cationes metálicos cuando se les suministra NH_4^+ en vez de NO_3^- , mostrando entonces también síntomas de deficiencia de Ca y Mg (Chapin, 1980).

Cuando las condiciones ambientales conducen a una rápida acumulación de biomasa, se suele provocar

una alta capacidad de absorción radical, al menos en suelos fértiles con plantas cultivadas. La demanda del tallo es particularmente importante en la absorción radical, en estas condiciones. No está claro si el incremento de absorción por las plantas en rápido crecimiento resulta de:

- Mayor velocidad de fotosíntesis, con una traslocación de azúcares a la raíz que aumenta la respiración radical.

- Demanda creciente del tallo, originando una traslocación de nutrientes inorgánicos desde la raíz, y la liberación del proceso de absorción de una posible inhibición por retroalimentación.

- Síntesis de nuevos transportadores (Chapin, 1980).

2. Respuesta a un status bajo de nutrientes.

Cuando los nutrientes se encuentran poco disponibles, las reservas para el crecimiento de la raíz son distribuidas a expensas del tallo. Entonces se produce un aumento de la relación raíz/tallo, cuyo mecanismo no está claro. Brouwer (1966) sugiere que los meristemas radicales, debido a su proximidad a la fuente de nutrientes, reciben una cuota mayor de éstos, de modo que su crecimiento sería más rápido que el de los meristemas del tallo, hasta que la relación nutrientes/carbohidratos aumenta hasta hacerse limitante del crecimiento. En ese momento, los meristemas del tallo, más próximos a la fuente de carbohidratos, crecen en mayor medida.

Una vez dentro del tallo, los nutrientes móviles se dirigen preferentemente a los sitios de mayor actividad meristemática o sumideros. Así, un status reducido de nutrientes tiene un efecto mucho menor sobre el número y tamaño de las hojas en la zona apical del tallo, que en los renuevos laterales.

Especies con un determinado número de hojas por tallo, muestran una gran variación en su tamaño, mientras aquellas especies con un número variable suelen responder a una mejora en su estado nutricional a través de un cambio en el número de hojas.

El efecto de los macronutrientes sobre el crecimiento es muy variable: Entre los elementos móviles, el N es el que tiene un mayor efecto sobre el crecimiento, afectando al número de células y su tamaño; el P tiene efectos similares, aunque menos pronunciados, y el K es el que tiene menos efecto sobre el crecimiento, afectando sólo al tamaño de las células. Por otro lado el Ca, inmóvil en el floema, se acumula en el xilema y en los lugares de máxima transpiración. Su movimiento hacia los meristemas es menos rápido, restringiendo su actividad antes que la expansión y la actividad de las hojas más viejas.

Cuando el suministro de nutrientes desde el suelo es insuficiente, las hojas viejas los suministran a los meristemas y a las hojas jóvenes en crecimiento (Williams, 1948, 1955). En primer lugar, son movilizados de los depósitos existentes en las vacuolas y, en menor cantidad, de compuestos rápidamente hidrolizables, como esteroides de fosfato y aminoácidos (Brady, 1973). Esto conlleva una reducción en la tasa de síntesis de proteínas y clorofilas.

En gran medida, la tasa fotosintética es proporcional al N foliar, como componente de las enzimas fotosintéticas y de las clorofilas; y bastante más independiente de los cambios producidos en la concentración de P y K foliar (Nátr, 1975; Terry y Ulrich, 1973). La respiración, muy relacionada con el contenido proteínico del tejido, también disminuye en condiciones de stress (Brady, 1973). De todas formas, el efecto del stress es mucho mayor sobre el crecimiento que sobre la fotosíntesis y la tasa de respiración neta, de modo que la concentración de carbohidratos no estructurales aumenta por encima de los niveles inmediatamente necesarios para el crecimiento.

3. Qué ocurre con las especies silvestres y suelos de fertilidad limitada.

Las especies de crecimiento lento que caracterizan muchos ecosistemas naturales, de fertilidad escasa o sometidos a diversos tipos de stress (sequía, salinidad, etc), normalmente muestran una baja tasa de absorción de nutrientes por planta, que aumenta muy poco en respuesta a un incremento de la concentración externa.

En comparación con las especies propias de medios muy ricos en nutrientes, su capacidad de absorción es considerablemente menor cuando el suministro es abundante, y aproximadamente el mismo el mismo, o incluso superior, cuando la disponibilidad de nutrientes se hace muy escasa.

Para maximizar la entrada de nutrientes, estas plantas recurren antes a una alta relación raíz/tallo, junto con la formación de micorrizas. La primera es, en parte, una adaptación fenotípica que se observa también en plantas propias de los hábitats más fértiles y cultivos, cuando se someten a algún tipo de stress nutricional (Grime, 1976), e incluso en rangos mayores que los de las especies propias de hábitats pobres.

La razón raíz/tallo de las especies de hábitats infértiles viene a ser cinco veces mayor cuando se mide en el campo que cuando se mide en soluciones nutritivas. Esto nos lleva a pensar en una mayor longevidad de las raíces cuando crecen en hábitats con fertilidad limitada.

Puesto que la capacidad de absorción de las raíces suele declinar con la edad, la gran biomasa radical que se alcanza en estos casos debe ser incompatible con una alta capacidad de absorción. En estos hábitats, donde la difusión es un factor limitante, una gran biomasa de raíces es de gran valor.

Por otro lado, la asociación con hongos (micorrizas) es de vital importancia para la nutrición en condiciones de baja fertilidad, sobre todo con los nutrientes que difunden lentamente en el suelo. (Fosfato>>Amonio>>Potasio) .

Otra característica de las plantas es su capacidad de alterar la disponibilidad de nutrientes en la superficie radical, secretando $H^+ O HCO_3^-$ a cambio de NH_4^+ o NO_3^- respectivamente, y cambiando el pH de la rizosfera en valores de hasta una unidad (Nye y Tinker, 1977), o bien mediante exudaciones radicales de compuestos orgánicos para estimular la descomposición de la materia orgánica, entre otras adaptaciones. Sin embargo, hasta el momento hay pocas evidencias de que las especies adaptadas a estos hábitats pobres sean más efectivas que otras a la hora de incrementar la disponibilidad de nutrientes en la superficie de la raíz.

4. Ciclos estacionales de nutrientes.

La concentración de nutrientes en la solución del suelo y su absorción por la planta fluctúan considerablemente a lo largo del año. En suelos no agrícolas suele existir un flujo de nutrientes en primavera, y a veces otros en otoño e invierno, asociados con la disponibilidad de agua, descomposición de la materia orgánica o incremento de la actividad microbiana. Probablemente, un importante porcentaje de la absorción de nutrientes ocurre en estos flujos.

5. Longevidad foliar.

Las especies propias de hábitats de limitada fertilidad se caracterizan por sus reducidos requerimientos anuales, la gran longevidad de sus hojas y pequeña tasa de crecimiento.

A continuación citaremos algunas de las ventajas acarreadas por el aumento en longevidad de las

hojas (hojas perennes).

-Se restituye más C fotosintético por unidad de N distribuida a la hoja que en caso de las hojas caducas (Snaydon, 1962).

-Satisfacción de las necesidades energéticas de la planta con una producción pequeña o discontinua, de modo que la planta sobrevive periodos en que no hay bastantes reservas para mantener la producción de hojas. Debido a la falta de eficacia de los mecanismos de retranslocación de las hojas en senescencia, las plantas de lento reciclado de hojas tienen menores requerimientos anuales, lo que es ventajoso en hábitats infértiles (Chapin et al, 1980).

-La hoja perenne es menos susceptible a pérdidas por lixiviado (Tukey, 1970). Esto es, no obstante, compensado por el mayor tiempo en que la hoja está expuesta al lixiviado (Thomas, 1976).

-Las especies de hoja caduca sufren mayores pérdidas anuales de nutrientes por la abscisión otoñal, lavandose con facilidad una vez en el suelo. Las hojas perennes se desprenden más gradualmente durante el año, descomponiendose despacio, con una menor pérdida de nutrientes en el ecosistema (Monk, 1966).

-Las hojas perennes mantienen un balance de carbono más favorable que las caducas a igualdad de clima, pues la fotosíntesis es posible durante todo el año.

El aumento de la longevidad foliar tiene, también, sus ventajas: La capacidad fotosintética disminuye con la edad de la hoja, y suele ser menor en las perennes que en las caducas, en el mismo medio (Mooney, 1972). Además, la gran cantidad de componentes antiherbívoros que se ven obligadas a producir les suponen un mayor gasto energético. Esta defensa de los depredadores es tanto más importante en lugares de escasa fertilidad, donde la planta no puede permitirse grandes pérdidas de los nutrientes acumulados.

6. Tasa de crecimiento y consumo de lujo.

Conforme la disponibilidad de nutrientes aumenta, las especies de rápido crecimiento propias de los ambientes más fértiles -sobre todo las C_4 -, responden con grandes incrementos de su tasa de crecimiento, mientras que las especies adaptadas a medios más pobres lo hacen en mucha menor medida, aumentando antes la concentración de sus tejidos (Bradshaw et al., 1960).

En un hábitat fértil, un alto crecimiento relativo posee claras ventajas, ya que supone una elevada producción de biomasa radical y foliar para abarcar un máximo de recursos, hídricos, luminosos y nutritivos. En un hábitat de escasa fertilidad, las posibles ventajas de una pequeña tasa de crecimiento serían las siguientes:

-Absorción más lenta de nutrientes, con menores probabilidades de agotar las fuentes de suministro del suelo (sólo válido en ausencia de competición).

-Mecanismo fisiológico adaptado a un régimen bajo en nutrientes, de forma que funciona siempre cerca del óptimo, mientras que las especies de rápido crecimiento sufren un 90 % de reducción en su cosecha en las mismas condiciones.

-Utilización de los nutrientes absorbidos en exceso -consumo de lujo- durante los flujos estacionales para mantener su crecimiento una vez agotadas las reservas o la capacidad de suministro del suelo (Grime, 1975 y 1979), aumentando las posibilidades de supervivencia hasta el siguiente flujo estacional. Se mantiene la actividad meristemática, y la capacidad de respuesta a una mejora de las condiciones de disponibilidad de nutrientes. Así, una planta de crecimiento lento llega a ser más productiva que otra de crecimiento rápido, en el ciclo anual (Clarkson, 1967).

El consumo de lujo tiene su causa en la limitada capacidad de respuesta de la absorción radical ante un cambio del status nutricional de la planta. Esto es una ventaja, ya que le permite una explotación muy efectiva de los flujos de nutrientes. No obstante, en medios más fértiles no dejaría de ser un inconveniente, con secuelas de toxicidad, reducción de crecimiento y vigor.

Las acumulaciones tóxicas de Ca encontradas en especies calcífugas explica, al menos en parte, su pobre crecimiento al crecer sobre medios ricos en este elemento (Ingestad, 1976).

7. Concentración de nutrientes y eficacia en su uso.

La eficacia de empleo de un nutriente se define generalmente como la cantidad de materia seca producida por g de nutriente.

Cuando crecen en similares concentraciones, las especies de crecimiento lento presentan mayores concentraciones en sus tejidos (menor eficiencia) que las especies de rápido crecimiento, lo cual nos sugiere que la eficacia en el uso de los nutrientes, tal y como se define normalmente, no es una adaptación importante en estos casos (Clarkson, 1967).

Cuando la fertilidad es alta, las diferencias interespecificas en concentración de los tejidos son especialmente pronunciadas, debido al consumo de lujo de las especies de crecimiento más lento. Pero cuando la fertilidad es baja, hay una serie de descompensaciones, a favor de estas especies. En efecto, las especies de crecimiento más rápido muestran concentraciones muy bajas, asociadas con síntomas visuales de deficiencia, reducción de su capacidad de absorción radical, respiración, fotosíntesis, e incrementan la mortalidad en caso de sequía o enfermedad. A la vez, se hacen más sensibles a la toxicidad por metales pesados y salinidad. Por ello, parece ser que la capacidad de las especies de lento crecimiento de mantener su capacidad metabólica en condiciones de stress nutricional es una característica clave de su adaptación.

Una baja concentración de nutrientes en los tejidos es la norma en estas plantas, cuando se muestrean en condiciones naturales, y suele ir unido a una acumulación de carbohidratos no estructurales (Smith, 1973), un tejido muy estructurado (a menudo hojas esclerófilas) y poco contenido en proteínas y clorofilas (Loveless, 1961, 1962). Debido a la inferioridad de su maquinaria fotosintética, y a la menor velocidad de conducción de CO₂, las plantas con hojas esclerófilas tienen menor tasa de fotosíntesis y de crecimiento.

La concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas silvestres muestreadas en su medio natural suele diferir menos entre los distintos lugares que los nutrientes del suelo, de modo que no resulta un indicador demasiado bueno de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, en comparación con las plantas cultivadas. Esto se debe a una mayor variación de las plantas silvestres en su tasa de crecimiento inherente, una menor capacidad de respuesta a la disponibilidad de nutrientes, un menor rango de concentración de nutrientes en el tejido y una heterogeneidad ambiental bastante mayor.

De todas formas, las variaciones intraespecificas en la concentración de un nutriente se han utilizado para medir el margen de su nicho nutricional.

8. Almacenamiento y ciclo anual de nutrientes.

② ~ ciclo estacional de los nutrientes

Los hábitats donde la fertilidad puede ser un factor limitante se encuentran dominados por especies no anuales antes que por especies anuales (Grime, 1975).

1. Especies no anuales de hoja caduca.

Uno de sus rasgos característicos es el almacenamiento de minerales y carbohidratos en tejidos no fotosintéticos.

Su rápido crecimiento primaveral se basa antes en los nutrientes almacenados que en una absorción concurrente.

El incremento primaveral en nutrientes foliares coincide con una caída en las reservas de N y P en tallos y raíces. Este capital de nutrientes (tallo y raíz), es recuperado durante el verano por absorción del suelo, y en otoño por traslocación a partir de las hojas senescentes.

Los nutrientes traslocados desde las hojas fluyen hacia los frutos en desarrollo o mantienen el crecimiento de las raíces al mismo tiempo que recargan los lugares de almacenamiento.

Debido a la asincronía en el crecimiento de las diversas partes de la planta, los mismos nutrientes a varias funciones en la estación de crecimiento. La disminución estacional de las concentraciones de N, P y K en hoja se debe al efecto diluyente del material de la pared celular, acumulando con mayor rapidez que el contenido celular, y después a la translocación de nutrientes fuera de las hojas. (Chapin et al., 1980).

2. Especies no anuales de hoja perenne.

Retienen los nutrientes foliares in situ durante el invierno, en vez de translocarlos a tallos o raíces, de forma que la disminución estacional de las concentraciones de N y P se debe fundamentalmente al efecto diluyente de las paredes celulares. En años consecutivos, las hojas persistentes pueden mantener concentraciones estables y reservas de nutrientes, con ganancias ocasionales debido a consumos de lujo durante periodos de no crecimiento.

El crecimiento de hoja y tallo de las especies de hoja perenne empieza más tarde y es más gradual que el de las especies de hoja caduca, de modo que puede basarse en la absorción directa del suelo o en el consiguiente almacenamiento en hojas, tras la absorción otoñal e invernal (Chapin et al., 1980). Así, como sitios de acumulación y reserva, las hojas de las perennifolias son al menos tan importantes como raíces y tallos.

La acumulación de reservas nutritivas durante el invierno capacita a la planta para crecer cuando el agua, temperatura y radiación son más favorables para el crecimiento, y libera la planta de la dependencia diaria de los nutrientes disponibles del suelo (Jeffrey, 1964). Por ello, tanto el almacenamiento estacional de nutrientes como el consumo de lujo resultan esenciales para el triunfo de estas especies en medios de escasa fertilidad.

9. Estrategias.

Grime (1977, 1979), describe tres estrategias básicas de las plantas en relación con su capacidad ecológica y evolutiva:

1. Plantas tolerantes del stress, características de ambientes desfavorables (baja fertilidad, aridez, salinidad).
2. Especies competitivas, que caracterizan ambientes favorables y estables.
3. Especies ruderales, propias de ambientes favorables pero fácilmente alterables, o poco estables.

Las plantas tolerantes al stress son de lento crecimiento, mientras que las competitivas y ruderales son de alto crecimiento.

Los hábitats más favorables son explotados con mayor eficacia por especies competitivas y ruderales, con altas tasas de crecimiento y alta capacidad de absorción radical, sobre todo en respuesta a altas

concentraciones externas de nutrientes, suministrando los minerales necesarios para un rápido crecimiento.

La alta capacidad de absorción radical depende de un alto rendimiento fotosintético, porque:

-Las plantas en suelos fértiles tienen bajas reservas de carbohidratos.

-Estas especies tiene altas tasas de respiración.

Así, las especies ruderales y competitivas presentan también una alta tasa de fotosíntesis, que suministra el carbón y la energía para su rápido crecimiento. pero si la absorción de nutrientes (N y P sobre todo), no se mantiene a una velocidad importante, la fotosíntesis y la tasa de crecimiento declinan. El rendimiento fotosintético disminuye con la edad de la hoja, y la absorción de nutrientes con la de la raíz, de manera que el mantenimiento de ambos procesos depende del rápido (anual, al menos) reciclado de hojas y raíces. El rápido reciclado de tejidos ocasiona sustancial pérdida de nutrientes en los tejidos senescentes, debido a la baja eficacia de los mecanismos de retranslocación. Por ello, en hábitats de fertilidad menguante las tasas de absorción de nutrientes, de fotosíntesis y crecimiento, declinan, apareciendo síntomas de deficiencia y susceptibilidad creciente a otros tipos de presión.

En el otro extremo, los suelos infértiles son más ventajosamente explotados por especies tolerantes al estrés, cuyas bajas tasas de crecimiento puedan ser adecuadamente mantenidas por su baja capacidad de fotosíntesis y de absorción de nutrientes. Una alta capacidad de absorción suministraría poca ventaja en estas condiciones, donde la difusión de nutrientes a partir de la masa del suelo es el principal limitante de la absorción.

La adquisición de nutrientes se maximaliza manteniendo una importante biomasa de raíces asociada a micorrizas, conseguida en gran parte a un pequeño reciclado de radical. La larga longevidad de las raíces sería, por otro lado, responsable en parte de subaja capacidad de absorción.

La pequeña tasa de crecimiento, y su escasa respuesta a flujos de alta disponibilidad de nutrientes permiten a la planta adquirir y mantener reservas para sobrevivir periodos de excepcional baja disponibilidad en el suelo. Los requerimientos anuales serían bajos tanto por la baja tasa de producción de tejidos como la baja tasa de pérdida de nutrientes en senescencia o lavado. Las plantas adaptadas a otras tensiones, como sequía, salinidad, falta de luz o bajas temperaturas también se caracterizan por su lento crecimiento y comparten muchas de las características básicas que hemos referido a las de suelos de fertilidad reducida.

Ampliar

2. PLANTAS CALCICOLAS Y CALCIFUGAS. LOS FISIOTIPOS Y LOS PROBLEMAS DE ADAPTACION A LA ARIDEZ.

Según Kinzel, las características del metabolismo mineral de los distintos táxones del reino vegetal podrían servirnos para determinar sus características fisiológicas, su "fisiotipo", que se añadiría a la caracterización morfológica de un determinado taxon. Por otro lado, a la luz de estos datos quizás sería más sencillo comprender su comportamiento ecológico característico (Kinzel 1992).

A este respecto, la experiencia puede plantearse tanto con la recogida de muestras de plantas que crecen libremente en el medio ecológico que les es propio (Brotherson 1980, Gray 1983 y Schlesinger 1989), como realizando la investigación con plantas que crecen bajo condiciones controladas de cultivo (Collander 1941, Patel et al. 1980, Kinzel and Berger 1992).

Recurrir al estudio del metabolismo mineral de una especie o grupo de especies para separar táxones y/o explicar su comportamiento ecológico cuenta con antecedentes entre los que podemos citar, a modo de ejemplo, los trabajos de Brooks sobre la concentración de níquel en las distintas subespecies de Alyssum serpyllifolium, y su papel ecológico (Brooks 1977, 1978, 1981a, 1981b, Morrison, 1979 y 1980).

Por otro lado, siguiendo la revisión que Kinzel hace sobre la influencia de ciertos sustratos y el pH en la vegetación (Kinzel, 1983), podemos decir que desde la primera mitad del siglo XIX eran ya evidentes para los científicos y naturalistas las diferencias existentes entre la vegetación propia de sustratos calcáreos y silíceos, cuando en 1836 Unger publica una revisión completa sobre el tema. El concepto de pH, introducido en 1909, resultó de gran utilidad a los botánicos para establecer sencillas correlaciones entre la distribución de una determinada especie de planta, y el pH del suelo de sus hábitats. Así surgen los términos acidófilo y basófilo, para designar respectivamente a las plantas que se encontraban con mayor frecuencia sobre suelos con pH marcadamente ácido o básico (Olsen 1923). Los términos calcícola y calcífuga surgen de la correlación entre las plantas y la composición química de la roca subyacente (Chodat 1913, Salisbury 1920). El inconveniente de estos sistemas de clasificación es que si bien permiten comprender los patrones de distribución de las plantas, suministran muy poca información a los interesados en la fisiología del vegetal. Por ello ciertos autores proponen una terminología ecofisiológica.

A la hora de considerar la competición entre dos especies para ocupar un terreno determinado, podemos encontrarnos con dos comportamientos bien definidos: Bien que una especie sea capaz de utilizar el hábitat con mayor eficacia que la otra, o bien que una de las especies sea capaz de resistir algún factor perjudicial del hábitat que sea imposible para la otra. Así, las plantas calcícolas o basófilas serían aquellas especialmente sensibles a la acidez del suelo, pero capaces de resistir los efectos dañinos de los sustratos calcáreos. Con las plantas calcifugas o acidófilas, ocurriría lo contrario.

Otras veces, la distribución de un determinado vegetal puede explicarse sin recurrir a los efectos de la competición. Es el caso de plantas de muy diferentes requerimientos ecológicos, de modo que sólo una de ellas sea capaz de sobrevivir en un hábitat determinado, con lo que los efectos de la competencia serán secundarios. Sólo cuando las especies viven en medios similares, estas interacciones específicas de índole competitivo cobran importancia. A este respecto Ellenberg (1958) propuso los conceptos de óptimo fisiológico, que se da cuando la planta crece en cultivo, versus óptimo ecológico, que se encuentra influenciado por la competición interespecífica.

Pero ha de tenerse en cuenta que calcícola y basófila, lo mismo que calcífuga y acidófila, no son términos absolutamente sinónimos. Experimentos realizados en condiciones controladas (Steele 1955) nos

muestran que hay plantas calcícolas estrictas, pues requieren de la presencia de CaCO_3 en el medio -que no puede sustituirse, por ejemplo, por MgCO_3 -, otras calcícolas menos estrictas -les serviría tanto CaCO_3 como CaSO_4 , con lo que parece ser que necesitan, más que un pH elevado, la presencia del ión calcio, y otro grupo de plantas que si bien se veían inhibidas por CaCO_3 , se veían promovidas por el Mg. A la vista de estos resultados, parece claro que el calcio es, por sí sólo, un determinante de la distribución de la planta, y que hay plantas calcícolas antes que basófilas, pues son capaces de sobrevivir a un pH bajo si el suministro de calcio es el adecuado. El calcio juega un importante papel como nutriente, pues hay enzimas que dependen del mismo, y es capaz de inhibir la fotosíntesis (Portis et al. 1977). La célula necesita mantener concentraciones citoplasmáticas de calcio muy bajas (10^{-5} , 10^{-6} M) para evitar sus efectos perjudiciales o inhibidores, lo que se consigue por la acción de bombas expulsoras de este catión, que dependen del ATP (Clarkson and Hanson 1980); mientras que el contenido de calcio del apoplasto es mucho mayor, dada su función reguladora en la integridad de las membranas cuya semipermeabilidad, necesaria para la retención de ciertos iones, se destruye en las raíces deficientes, ocasionándose, principalmente, una pérdida de potasio (Epstein 1961).

Para Clarkson y Hanson, 1980, 0se requieren en suelo concentraciones de 1 a 5 mM de calcio para defender las raíces contra los efectos perjudiciales de bajo pH, iones tóxicos, salinidad y desequilibrio iónico. Es posible que el calcio pueda ser un puente de unión ente los grupos fosfato y carboxilato de fosfolípidos y proteínas, incrementando la hidrofobicidad de las membranas, y su estabilidad.

En trabajos realizados con Vicia faba y Lupinus luteus (Ghorbal et al. 1978; Ghorbal y Grignon 1979, Ghorbal y Salsac 1979), los autores concluyen que el calcio de las plantas calcífugas está ligado a las membranas citoplasmáticas de modo que se ve menos influenciado por un entorno ácido que el calcio de las membranas de las plantas calcícolas.

Podemos, por tanto, asumir que un prerrequisito de las plantas capaces de vivir en suelos ácidos será una estructura de su membrana citoplasmática que pueda mantenerse independientemente del calcio, o que no requiera sino trazas del mismo.

Iljin, (1936-1944) distingue plantas calciótrofas y calciófobas, definiendo las plantas calciótrofas como aquellas que contienen cantidades apreciables de calcio disuelto en agua, aproximadamente las mismas que potasio. La cantidad de oxalato es pequeña. Por otro lado, en las plantas calciófobas no existe apenas calcio disuelto, e incluso se observa precipitación del calcio que se pueda añadir. Contienen grandes cantidades de oxalato disuelto. Basándose en estos trabajos, se desarrolló el concepto de fisiotipo (Kinzel, 1972; Albert and Kinzel, 1973).

Ha de tenerse en cuenta que el proceso de absorción iónica por las raíces, tal y como se describe en los libros de texto, se ha caracterizado tomando como base experimentos de laboratorio en condiciones controladas de cultivo. En su medio natural, la abundancia de ciertos iones y las altas tasas de transpiración permiten a los iones acumularse como nunca podrían hacerlo bajo condiciones de laboratorio. Los efectos combinados de la abundancia de calcio y transpiración resultarían en una acumulación de calcio en las hojas a lo largo de la estación (Kinzel, 1983).

El análisis de hojas recogidas en su medio natural revela que la síntesis de oxalato en diversas especies de Caryofiláceas (calciófobas), se estimula por el influjo de calcio, de modo que sólo pequeñas cantidades de calcio disuelto pueden encontrarse. Asimismo, se detectan grandes cantidades de oxalato

cálcico.

En una planta calciótrofa creciendo en la misma situación (suelo calizo), encontramos que el calcio disuelto se combina con el malato como contra-ión, en altas cantidades, contribuyendo a crear un potencial osmótico necesario para que la planta sobreviva en un hábitat calizo y seco.

Por tanto, una planta calciófoba en un suelo calcáreo no puede utilizar el ión que más abunda en su medio para la regulación osmótica, sino que, por el contrario, precipita el calcio, lo cual nos llevaría a considerar que el fisiotipo calciófobo coincidiría con el de las plantas calcífugas. Esto no es siempre así, pues existen plantas calcícolas que responden a este fisiotipo, como el Dianthus lumnitzeri. Los análisis realizados en esta planta nos revelan que el necesario ajuste osmótico puede conseguirse mediante la acumulación de azúcares y compuestos relacionados, en cantidades inusuales en plantas dicotiledóneas (Königshofer et al. 1979, Albert et al. 1980, Kinzel 1982). De esta manera, se paga un alto precio para conseguir un potencial osmótico lo suficientemente bajo que permita a una planta calciófoba vivir en un hábitat calcáreo, precio que no todas las plantas de este tipo son capaces de pagar.

Sin embargo, existe otro punto de vista desde el que este asunto puede contemplarse. Sabemos que el contenido en calcio libre en el citoplasma de las células vegetales es muy bajo, del orden de micromoles por litro y aun menor (Hager and Hermsdorf 1981, Williamson and Ashley 1982).

Esta concentración extremadamente baja ha de mantenerse contra una concentración mucho más alta existente en el fluido extracelular, lo cual se consigue con bombas eyectoras de varios tipos (Hager y Hermsdorf 1981, Hirata y Koga 1982, Muallem y Karlsh 1981, Michell 1982, Kubowicz et al. 1982). Una planta calciófoba tendrá, entonces, una ventaja: la baja concentración de calcio en la vacuola permite las bajas concentraciones necesarias en el citoplasma, mientras que el fluido extracelular puede suministrar las cantidades de calcio necesarias para los mecanismos en que este ión actúa como regulador, como son los controles metabólicos a nivel enzimático por la acción de proteínas capaces de ligar el calcio-calmodulina, (Cheung 1982)- o cambios en la permeabilidad del potasio (García Sancho et al. 1982). Una planta calciótrofa, aunque puede utilizar este calcio como osmorregulador, tendrá la desventaja de un gradiente de calcio excepcionalmente alto entre citoplasma y vacuola, para el mantenimiento del cual deberá hacer funcionar un eficiente sistema de transporte que consumirá energía.

3. EL PROBLEMA DE LOS YESOS Y LA VEGETACION RELACIONADA.

Ampliar mal

Existen pocos estudios nutricionales sobre la importancia del efecto químico de los yesos en la vegetación gipsícola. Un trabajo clásico es el realizado por Duvigneaud (Duvigneaud, 1966, 1968), que a mediados de la década de los sesenta estudió, entre otros caméfitos y pequeños arbustos, los gipsófitos estrictos Ononis tridentata, Gypsophyla struthium y Helianthemum squamatum. Sus estudios se centraron especialmente en el material que recolectó en la depresión del Ebro. El trabajo, realizado con plantas muestreadas in situ, ilustra que estas plantas son hiperacumuladoras de calcio, azufre y magnesio, y que el calcio está precipitado en forma de cristales de SO_4Ca . Encuentra también que son especies muy frugales en potasio, y que el contenido en magnesio es mayor aun que el que se encuentra en plantas que crecen sobre suelos dolomíticos, especialmente ricos en carbonatos cálcico y magnésico. Duvigneaud propone una clasificación de los vegetales en función de la capacidad de las plantas de acumular ciertos elementos minerales (potasio, calcio, azufre, etc), sin llegar a concluir mecanismos concretos que expliquen la especificidad de las plantas estudiadas con sus sustratos.

Gankin y Major (1964) han sugerido que las especies endémicas edáficas se ven restringidas a suelos que excluyen la vegetación regional dominante en la zona, a causa de algún inconveniente, como pueden ser extrema infertilidad o desequilibrio de nutrientes. Las especies endémicas, adaptadas a sobrevivir con estos inconvenientes, son incapaces de competir ventajosamente con las especies dominantes en los suelos adyacentes, de características más normales. Éste es el modelo de endemismo edáfico llamado de refugio, en contraste con el modelo especialista.

El primero podría ser el caso de los endemismos serpentínícolas, donde la planta crece mejor en suelo normal que en el suelo rico en serpentinas que les es propio (Proctor y Woodell, 1975). Así, estas plantas se ven en realidad restringidas a un suelo que es fisiológicamente subóptimo.

Por el contrario, los endemismos calcícolas responden al modelo especialista, creciendo mejor en su propio suelo, rico en calizas, aun en ausencia de competición (Rorison, 1960; Clymo, 1962; Jeffries y Willis, 1964).

En un ambiente xérico, el agua suele ser el factor limitante (Grime, 1979; McMahon y Schimpf, 1981). Si queremos aplicar el modelo del refugio a los desiertos, las especies endémicas deberían verse limitadas a suelos con otro inconveniente distinto al de una pobre relación hídrica, pues la incapacidad de competir por el agua habrá sido, presumiblemente, el factor que las ha excluido de los suelos normales adyacentes que soportan la vegetación dominante en la zona. Este otro factor limitante debe ir unido a la química del suelo, o algún otro rasgo físico edáfico no ligado directamente a las relaciones hídricas.

Si queremos aplicar el modelo especialista, el suelo en cuestión tiene que presentar alguna ventaja para la especie endémica, distinta de una libertad relativa para la competición por el agua.

Se ha propuesto que el principal inconveniente que presentan los suelos yesíferos opera en la etapa de establecimiento, debido a sus peculiares propiedades físicas.

Las características superficiales que afectan la fuerza mecánica de la costra son de especial importancia para el establecimiento de las semillas (Harper et al. 1965, Frelich et al. 1973).

La presencia de grava en la superficie puede tener varios efectos positivos. La infiltración se incrementa mediante un efecto abrevadero microtopográfico (Evenari et al, 1971) y la más baja capacidad de campo de la capa superficial (Hillel y Tadmor, 1962). El vapor de agua subterráneo se condensa bajo las

piedras y la tasa de pérdida por evaporación se ve disminuida (Juri y Bellontuoni, 1962). La grava también puede impedir la formación de una costra continua superficial. El suelo bajo las piedras y alrededor de los bordes permanece vesicularizado y relativamente suave, en contraste con el suelo expuesto a la fuerza de la lluvia (Epstein y Grant, 1973).

Los suelos de yeso desnudo también forman costras mediante recristalización de yeso según el agua se evapora de la superficie (Watson, 1979). Estas costras, que permanecen endurecidas aun saturadas de agua podrían presentar serios problemas para la semilla emergente. Los suelos de yesos del desierto de Chihuahua que tienen una delgada capa superficial de arena o finos aluviones calcáreos no desarrollan la costra endurecida, de modo que Larrea tridentata y otras especies de matorral que se ven excluidas de los suelos yesíferos desnudos, son capaces de establecerse allí (Buffington y Herbel, 1965; Meyer y García Moya, 1986).

Sin embargo, a diferencia de las especies gipsóvagas, las especies gipsófilas no sacan ventaja, al parecer, de la presencia de grava. Su abundancia está mucho más relacionada con la abundancia de criptógamas líquénicas. Las especies gipsóvagas con más éxito también se asocian a emplazamientos con una alta cobertura líquénica. Esta cobertura líquénica modificaría el ambiente para la germinación de las plantas vasculares, relacionándose con un superior status hídrico que supondría una ventaja para ésta. Además, influiría en la infiltración y evaporación, o podría impedir el contacto directo de la semilla con el suelo, con su posible problema de imbibición. Los suelos ricos en yesos con una espesa cobertura líquénica parecen tener menos costras endurecidas.

En contraste, hay pocas evidencias sobre la importancia del efecto químico del yeso. El yeso no suele ser tóxico para las plantas, algo comprobado por su amplio uso como corrector del suelo. Tampoco hay un soporte demasiado fuerte para pensar que los gipsófitos se ven restringidos a estos suelos debido a un alto requerimiento de S. Los endemismos aparecen cuando el contenido de yeso del suelo es lo bastante alto para afectar sus propiedades físicas, aun cuando un suelo con un bajo contenido en yeso podría satisfacer las más altas demandas de azufre. Boukhris y Lossaint (1970) demostraron que aun gipsófitos con altos contenidos de S al crecer en yeso, podían crecer igualmente en suelos sin yesos, en condiciones de invernadero.

El endemismo gipsófito aparece restringido a las regiones áridas y semiáridas, aun cuando los suelos yesíferos aparecen en ambientes más húmedos. Rivas-Martínez y Costa (1970), informan que en España la vegetación instalada sobre yesos es distintiva sólo en condiciones de semiaridez. Bajo condiciones menos adversas, su vegetación no se diferencia de cualquier otra vegetación calcícola. De nuevo, son los factores relacionados con la humedad del suelo los que parecen de mayor importancia. Así, el contenido de yesos del suelo puede tener una gran influencia en las relaciones hídricas cuando las precipitaciones son un factor limitante. El gradiente térmico en función de la profundidad es mucho más acusado en yesos que en otro tipo de suelos, posiblemente debido a su estructura esponjosa que los transforma en un mejor aislante térmico. El movimiento del vapor de agua en respuesta a este gradiente tan elevado podría resultar en una mayor disponibilidad hídrica durante la sequía estival. Meyer y García Moya (1986) muestran cómo la superficie de un suelo rico en yeso se seca más lentamente durante un periodo de máxima sequía que la de un suelo calcáreo aluvial de textura fina, que excluía las especies gipsófilas. La fenología de 10 de las 11 especies endémicas estudiadas en los desiertos americanos poseen una fenología que incluye un crecimiento activo en verano, lo cual es una evidencia indirecta del menor stress hídrico sufrido sobre yesos.

4. ESPECIES VEGETALES.

En un intervalo - pedicelos

Las especies vegetales que han sido objeto de nuestro estudio son las siguientes (Sagredo, 1987):

Lepidium subulatum L.

Familia Brassicaceae.

Planta de raíz profunda. Tallos lignificados densamente poblados de hojillas lineares, sésiles, enteras, agudas, nervio longitudinal de la cara inferior saliente. Racimos muy numerosos, en panículas más o menos alargadas, rectas. Pétalos blancos. Silículas ovales, comprimidas.

Floración: Abril-Mayo.

Area geográfica: Sobre yesos, hasta más de 1.000 m de altitud, en España y noroeste de África.

Gypsophila struthium Loefl.

Familia Caryophyllaceae.

Planta perenne de hasta 1 m de altura, glauca y glabra. Hojas de 1-4 cm de largo y 1-2 mm de ancho. Flores en panícula difusa, blancas, pedicelos muy cortos, a veces glandular-pubescentes. Cáliz con dientes lanceolados, agudos, ciliados. Semillas con tubérculos cónicos.

Floración Mayo-Julio.

Area geográfica: En suelos gipsíferos, es un endemismo del centro y SE de España.

Helianthemum alypoides Rivas Goday & Losa.

Familia Cistaceae.

Planta erecta de 30-60 cm, muy ramificada. Ramas leñosas, rojizas cuando jóvenes. Hojas brevemente pecioladas, oval-lanceoladas, de márgenes levemente revolutos, verdoso-oscuros. Flores reunidas 3-8 en racimos terminales; pedicelos algo más cortos que el cáliz, con pelos estrellados, así como el cáliz. Pétalos amarillos, rara vez blancos, más largos que el cáliz. Cápsulo ovoide globosa, del tamaño de los sépalos.

Floración: Febrero-Mayo.

Area geográfica: Endemismo almeriense, siempre sobre terrenos con yeso.

Helianthemum squamatum L.

Familia Cistaceae.

Planta cespitosa de 10-30 cms, densamente cubierta de "escamas" plateadas. Hojas lanceoladas o linear-espátuladas, crasas, con márgenes lisos. Flores muy pequeñas agrupadas en inflorescencias ramificadas desde la base en densas cimas largamente pedunculadas; sépalos de 4 mm, cubiertos de escamas. Pétalos amarillos con mancha oscura en la base, apenas más largos que los sépalos. Cápsula elipsoide-trigona.

Floración: Mayo-Junio.

Area geográfica: España, sobre yesos.

Helianthemum lavandulifolium Miller.

Planta de 10-50 cm, erecta, con las ramitas jóvenes puberulento-blanquecinas. Hojas opuestas,

subsésiles, lanceoladas, de márgenes revolutos, verde-grisáceos en el haz, y blanco-tomentosos en el envés, estipulas más largas que el peciolo, caedizas. Flores de 15-25 cm de diámetro, erectas y pediceladas, agrupadas en racimos corimbosos bifurcados en el extremo de las ramas. Cinco sépalos más cortos que el peciolo, vellosos, pétalos amarillos de 5-10 mm. Fruto colgante más corto que el cáliz.

Floración: Mayo-Junio.

Area geográfica. En la zona mediterránea. Es una de las plantas más constantes en las yeseras, pero es también muy frecuente en todo tipo de sustratos calizos.

5. MEDIO FISICO DEL AREA DE ESTUDIO. EL BIOTOPO. *En Tabernas*

5.1. LOCALIZACION.

Nuestro trabajo se realizó en los afloramientos yesíferos que se encuentran junto a las localidades almerienses de Tabernas y Sorbas. Los muestreos se llevaron a cabo en dos enclaves relacionados desde el punto de vista geológico, pero lo suficientemente distantes para que existieran diferencias bioclimáticas, sobre todo en lo que a temperaturas se refiere, y diferencias en la flora y vegetación propia. Lepidium subulatum se muestreó en las proximidades de la Venta de los Yesos, a 520 m de altitud, a la altura de los kilómetros 154 y 155 de la carretera entre Tabernas y Sorbas. El resto de las plantas se muestrearon en los afloramientos yesíferos que constituyen el karst de Sorbas y Los Castaños. Este Karst empieza, en su extremidad nororiental, en las proximidades de la Venta de los Castaños, en la carretera de Sorbas a Los Gallardos, y continua por el Barranco del Tesoro y Los Molinos del Río Aguas, llegando al Peñón de los Díaz y el Cerrón de Hueli, en su localización más sudoccidental. La altitud media del área ronda los 400 m.

5.2. EL BIOTOPO.

5.2.1 GEOLOGIA.

El biotopo se caracteriza, desde el punto de vista geológico, por su encuadre en la depresión Tabernas-Sorbas, cuenca intramontañosa de las Cordilleras Béticas. Los bordes de la depresión son un conjunto de cadenas montañosas, como Sierra Cabrera, al este, Sierra Alhamilla, al sur, sierra de Filabres, al norte y, al oeste, los llamados desiertos de Tabernas, que dejan paso a las elevaciones de Sierra Nevada. Sus materiales pertenecen a las series alpujárrides, nevado-filábrides y maláguides, que constituyen las zonas internas de las Cordilleras Béticas.

En cuanto a los materiales que rellenan la cuenca propiamente dicha, tienen una gran variedad litológica: margas, yesos, margas areniscosas y conglomerados. En las zonas periféricas hay materiales arríscifales. Los yesos son del Mioceno Superior, y la potencia de sus estratos son muy variables, entre los 30 y 50 m.

Los afloramientos yesíferos que nos interesan son dos. El afloramiento de Sorbas, de unos 14 Km², en el lado oriental, y el afloramiento de la Venta de los Yesos, junto al borde occidental de la cuenca. Los yesos de Sorbas se encuentran muy karstificados, tanto en superficie como en profundidad, mientras los otros no presentan una karstificación tan acentuada en superficie (Calaforra, 1986).

5.2.2. EL CLIMA.

Pese a la proximidad geográfica, hemos de considerar por separado las características climáticas de los dos enclaves yesíferos muestreados.

-Yesos de Sorbas-Venta de los Castaños.

La estación pluviométrica más cercana es la de Sorbas, a 410 m de altitud, con una precipitación media anual de 284 mm en el periodo de 1960/1980.

Para el estudio de las variaciones térmicas utilizaremos las correlaciones de altitud/precipitaciones establecidas por Pérez Pujalte y Oyonarte (1987 y 1989), para las hojas de Sorbas

y Tabernas, cuya ecuación es: $y = 19,4010 - 0,0058 x$, con un coeficiente de correlación $r = 0,899$, donde y = Temperatura media anual (°C), y x = altitud (m), resultando para una altitud promedio de la zona de 400 metros, una temperatura de 17 °C.

La precipitación media anual la establecemos mediante otra correlación precipitación anual/altitud, que incluye los datos de las estaciones cercanas (Pérez Pujalte y Oyonarte, 1989). La recta que se obtiene es $y = 193,2560 + 0,2588 x$, con un coeficiente de correlación $r = 0,858$, que nos da una precipitación para la zona de 281 mm (altitud 420 m).

-Yesos de Tabernas-Venta de los yesos.

Cuenta con la cercana estación de la Venta de los Yesos, que es pluviométrica, a 515 metros de altitud, y registra un total de 252 mm anuales como promedio, en el periodo 1959/1980.

La correlación temperaturas/altitud es $y = 19,5181 - 0,0056 x$, para la temperatura media anual, con un coeficiente de correlación $r = 0,875$. Tomando como altitud del territorio muestreado 500 m, la temperatura media anual es de 16,7 °C.

Para las precipitaciones haremos uso de la correlación precipitación/altitud, corregida con el factor de la longitud, que establecen los mismos autores Pérez Pujalte y Oyonarte (1987): $y = -1506,6844 + 0,1418 x_1 + 0,3022 x_2$, donde y es la precipitación en milímetros, x_1 la altitud en metros, y x_2 la longitud en U.T.M. La precipitación media anual en nuestra zona es de 183,3 mm.

Ambos enclaves soportan un periodo de acusada xericidad estival, propio del clima mediterráneo, que es particularmente intenso en los meses de julio y agosto. Siguiendo las indicaciones de la Soil taxonomy (USDA, 1975), hemos establecido el edafoclima de la zona. El régimen de humedad es Arídico, y el régimen de temperaturas, Térmico.

El régimen Arídico implica que no existirá agua utilizable en mas de la mitad del tiempo que la temperatura del suelo es superior a 5°C, y que no hay periodos tan largos como 90 días en que el suelo se mantenga húmedo. El déficit de agua es muy elevado durante gran parte del año y, sólo durante el mes de diciembre la precipitación es mayor a la ETP, produciendose una recarga de la reserva. En ningún caso se produce un exceso de agua que permita el lavado del perfil en profundidad.

El régimen de temperaturas es Térmico, donde la media anual de las temperaturas se encuentra entre 15 y 22°C, y la diferencia entre la media de verano y de invierno de la temperatura del suelo es mayor de 5° c.

Ateniendonos a la clasificación de ombroclimas de Rivas Martínez, el ombroclima es semiárido (precipitaciones entre 200 y 350 mm). El piso bioclimático será mesomediterráneo en el enclave Tabernas-Venta de los Yesos, y termomediterráneo en Sorbas-Venta de los Castaños. Para cada uno de ellos, se establece una serie de vegetación distinta (Rivas Martínez, 1987).

5.3. VEGETACION.

5.3.1 VEGETACION PROPIA DE LOS YESOS.

Según Rivas Martínez y Costa, 1970, existe una gran variedad de comunidades vegetales especializadas en colonizar los suelos yesíferos, y la especialización será tanto mayor cuanto más árido sea el clima. Si por el contrario, en algún momento existiera un exceso de agua que permitiera el lavado del perfil del

suelo, la vegetación final o climax que se alcanzaría sería prácticamente la misma que partiendo de otras rocas ricas en bases, si exceptuamos los enclaves de topografía más abrupta. Pero si el suelo se erosiona puede aflorar de nuevo la roca yesífera, y las plantas gipsícolas volverían a instalarse. La mayor o menor abundancia de los gipsófitos facultativos en las comunidades fruticosas pone de manifiesto en los suelos la proporción de las calizas y de los yesos.

Incluso la vegetación del estrato herbáceo, formada por pequeñas plantas anuales, es característica de los yesos, pudiendo constituir una alianza propia, como es la Sedo-Ctenopsion gypsophilae Rivas Goday & Rivas Martínez 1963, aunque en nuestra área de estudio deben encuadrarse en la alianza Stipion capensis Br.-Bl. in Br.-Bl. & C. de Bolós 1954 em. Izco 1975. En cuanto a los tomillares y matorrales abiertos, es característica de los sustratos ricos en yesos el orden Gypsophiletalia, encuadrado en la clase Ononido-Rosmarinetea. El esquema sintaxonómico sería el siguiente:

Clase Ononido-Rosmarinetea Br.-Bl. 1957

Orden Gypsophiletalia Beilou & Rivas Goday 1956.

Alianza Lepidion subulati Beilou & Rivas Goday 1956

Asociación Santolino Gypsophiletum Rivas Goday & Esteve 1965

Subasoc. Teucrietosum turredani Rivas Goday & Esteve 1965

Subasoc. Lepidietosum subulati Rivas Goday & Esteve 1965

Siendo Teucrietosum turredani típica de Sorbas-Venta Los Castaños, con especies características como Helianthemum alypoides, Teucrium turredanum, Ononis tridentata, Gypsophila struthium, Santolina viscosa y Coris hispanica.

Lepidietosum subulati, es la subasociación existente en Tabernas-Venta de Los Yesos, caracterizándose por la presencia de Frankenia thymifolia, Trisetum toeflingianum y Lepidium subulatum.

Los llanos situados al pie de monte de las colinas yesíferas, normalmente campos de cultivo abandonados, donde también realizamos nuestros muestreos, se encuentran invadidos por comunidades de vegetación nitrófila vivaz, de la clase Pegano-Salsolitea, formada principalmente por caméfitos y nanofanerófitos, que se desarrollan sobre estos suelos eutrofos, constituyendo comunidades casi permanentes, dada la aridez del clima (Lázaro ?).

5.3.2. SERIE DE VEGETACIÓN.

De la misma manera que existen diferencias entre las comunidades gipsícolas de ambos enclaves, también existen diferencias en las series de vegetación propias (Rivas-Martínez, 1987).

Sorbas-los Castaños: Chamaeropo-Rhamneto lycioidis S. Lentiscar, faciación semiárida.

Tabernas-Venta de Los yesos: Rhamno lycioidi-Querceto cocciferae. Coscojar.

La serie de la coscoja es mesomediterránea, aragonesa, murciano-manchega, murciano-almeriense y setabense, y corresponde a bosquetes densos de Quercus coccifera, en los que prosperan diversos espinos, sabinas, pinos y otros arbustos mediterráneos. El rasgo esencial de esta serie es la escasez de precipitaciones a lo largo del año, en general de tipo semiárido.

La serie del lentisco es termomediterránea, murciano-almeriense y alpujarreña. Además del lentisco, abundan diversos espinos, palmitos y pequeños caméfitos y arbustos termófilos.

3 MATERIAL Y METODOS.

1.1 SUELOS.

El suelo fue muestreado de distintas formas, en función de los objetivos que se querían lograr. Así, se realizó un muestreo de perfiles edáficos completos, otro muestreo de la rizosfera (tomando sólo la porción de suelo directamente adherida a las raíces de la planta), y un muestreo representativo de cada uno de los cuadrados de 5 x 5 m² donde se muestreó la comunidad vegetal (ver apartado 2.1. correspondiente a las comunidades vegetales).

1.1 TOMA DE MUESTRAS.

La toma de muestras de los suelos tuvo lugar exclusivamente en los yesos de Sorbas-Los Castaños. En total se cogieron seis perfiles edáficos completos, uno en cada una de las estaciones de muestreo de las plantas. Se siguió un método de muestreo simple al azar. Resultaron tres muestras de los suelos poco desarrollado, y otras tres de suelos profundos y bien desarrollados. De cada perfil se anotaron las principales características del suelo, siguiendo las normas establecidas por la Guía de Descripción de Perfiles de la FAO (1977), y se analizaron en el laboratorio sus propiedades físico-químicas.

1.2. MUESTREO DE LA RIZOSFERA.

Coincidiendo con el muestreo de suelos, se tomó una muestra de rizosfera de una planta propia de yesos ~~-Gypsophila struthium-~~, de una planta propia del matorral almeriense que aparece frecuentemente sobre yesos, ~~-Helianthemum lavndulifolium-~~, y de una planta del matorral almeriense cuya presencia sobre yesos no es frecuente ~~-Anthyllis citysoides~~. Las dos primeras se muestrearon en los dos tipos de suelos que habíamos diferenciado en el planteamiento de nuestra experiencia.

1.3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

Una vez que las muestras se encontraban en el laboratorio fueron acondicionadas como fase previa para la realización de los distintos análisis.

Las muestras fueron desecadas al aire hasta que su humedad se equilibró con la ambiental, a continuación fueron extendidas sobre un tablero y con un rodillo de madera se deshicieron los agregados existentes en el suelo. Luego se pasaron por un tamiz de 2 mm de luz, almacenándose la fracción menor de este tamaño. En este paso se separa la fracción de grava y se guarda para la determinación del tanto por ciento de gravas referido al suelo total.

1.4. ANALISIS DE LAS MUESTRAS.

3.1 -ANALISIS MECANICO.

Para la destrucción de la materia orgánica se trataron las muestras del suelo con agua oxigenada. Para su dispersión se le añadió dispersante (hexametáfosfato) y se trató ocho horas en un agitador rotatorio de botellas.

La fracción arena se determinó por tamizado en húmedo y posterior separación en subfracciones por

tamizado.

La arcilla y el limo se separaron por sedimentación y se siguió el método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

-CARBONO ORGANICO.

Se oxidó la materia orgánica con dicromato potásico en medio ácido, valorando el exceso de éste con sal de Mohr (sulfato amónico).

-NITROGENO TOTAL.

Mineralización del nitrógeno en caliente con ácido sulfúrico y sulfato de plata como catalizador. La valoración se realizó con un aparato de destilación Labson.

-YESOS.

Se precipita el SO_4Ca de una solución extraída de la muestra, con acetona y posteriormente se mide su conductividad a partir de la cual se calcula el porcentaje.

-CARBONATOS. Su determinación se realizó por volumetría de gases. La corrección de presión y temperatura se hizo con carbonato cálcico puro. (Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología "José María Albareda", 1984).

-CAPACIDAD Y BASES DE CAMBIO. Se determinaron sobre la misma muestra y de forma sucesiva en los siguientes pasos:

-Lixiviación del suelo con acetato amónico (1N y pH=7) en una columna de percolación. En el lixiviado se determinaron las bases de cambio: sodio y potasio por fotometría de llama y el calcio y el magnesio por absorción atómica (Soil Conservation Service, 1972)

-Lavado con alcohol.

-Lixiviado del suelo con $ClNa$ acidificado. En este lixiviado se determina la capacidad de cambio por destilación del NH_4 desplazado.

-RETENCION DE AGUA A 1/3 Y 15 ATMOSFERAS.

Las determinaciones se realizaron sobre la tierra fina, utilizándose el método de la membrana de presión de Richards (1954).

-AGUA UTIL.

Se calcula a partir de los valores de retención de agua a 1/3 y 15 atm., de la densidad aparente y del coeficiente C_m , según la fórmula:

$$A.u. \text{ mm/cm.} = (W_{1/3} - W_{15}) \times DAH_f \times C_m / 10$$

donde:

$$C_m = Dg(1 - G/100) / (Dg(1 - G/100) + DAH_f \times G/100);$$

siendo G el porcentaje en peso de las gravas respecto al total del suelo, y Dg la densidad de las gravas.

DAH_f: Para el cálculo de la densidad aparente se ha empleado la ecuación de regresión múltiple

obtenida por Santos, 1979, y que se expresa por la siguiente ecuación:

$$D.A. 1/3: 1,5456 + 0,0015 (\% \text{ arcilla}) - 0,01219 (\% \text{ carbono orgánico}).$$

-CONDUCTIVIDAD.

La separación del extracto de saturación se realizó por el procedimiento rápido de sobresaturación (Allison, 1973). El filtrado de la pasta se realizó en un embudo de Richards y en éste se leyó la conductividad, refiriéndola a 25 °C de temperatura, con un aparato Crison Conductivimeter 522.

-pH.

Se determinó en el extracto de saturación, con ayuda de un pHmetro con electrodo de vidrio.

3.1.4.11. SULFATOS. Medidos en el extracto de saturación, por turbidimetría. (Rhoades, 1982).

3.1.4.12. BASES EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN. Tras las oportunas diluciones, se midieron Na y K por fotometría de llama, y el calcio y magnesio por absorción atómica (Rhoades, 1982).

-FE, MN, CU Y ZN.

Se midieron en absorción atómica, tras una extracción con DTPA, según el método propuesto por O'Connor (1988).

2. COMUNIDADES VEGETALES.

2.1. TOMA DE MUESTRAS.

Se muestreó la comunidad de plantas gipsícolas en tres puntos a lo largo de un ^{±s} gradiente de yesos:

- 1: Afloramientos de yesos o zonas similares, inalteradas, con muy poco espesor de suelo. (no alteradas)
- 2: Localizaciones en pie de monte, donde el lavado había sido muy fuerte, y el color del suelo era mucho más oscuro y la potencia mayor. (lavados)
- 3: Zonas intermedias, más o menos alteradas. (intermedias)

La unidad de muestreo era un cuadrado homogéneo, elegido al azar, de 5 x 5 m², donde se contaban todos los pies de planta de cada especie de matorral existente. Luego, se tomaba una muestra de suelo representativa de la profundidad de enraizamiento de las plantas (20 ~~cm~~ cm). (20 x 40 cm)

Siguiendo este procedimiento, se muestrearon siete suelos del primer tipo (no alterados), tres del segundo (lavados), y cuatro del tercero (alterados).

En el laboratorio se procedió a analizar la conductividad eléctrica y el contenido en cationes del extracto de saturación de estos suelos, por los métodos ya descritos con anterioridad.

Paralelamente, se calculó el porcentaje de especies de gipsófitos sobre el número total de especies, y el porcentaje de individuos gipsófitos sobre el número total de individuos de matorral presentes en cada unidad de muestreo.

3. PLANTAS.

3.1 FENOLOGIA DE LAS PLANTAS MUESTREADAS.

<u>ESPECIE</u>	<u>MAYO</u>		<u>JULIO</u>	<u>SEPTIEMBRE</u>
<u>Gypsophila struthium</u>	vegetativo	botón	fruto	
<u>Helianthemum alypoides</u>	botón	flor	vegetativo	
<u>Helianthemum lavandulifolium</u>	botón	flor		fruto
<u>Helianthemum squamatum</u>	botón	flor		fruto
<u>Lepidium subulatum</u>		flor	flor-fruto	fruto

3.2 TOMA DE MUESTRAS.

Fueron muestreadas tres veces a lo largo de nuestra experiencia, con intervalos de dos meses, el 15 de mayo, el 15 de julio y el 15 de septiembre de 1991. Para la elección de los puntos de muestreo se procedió de la siguiente manera:

En la Venta de los Yesos, se localizaron al azar tres emplazamientos sobre suelos poco evolucionados, y otros tres emplazamientos sobre suelos más evolucionados. En el Karst de Sorbas se repitió la operación para cada tipo de suelo, de modo que en total hubo doce estaciones distintas de muestreo.

Las estaciones de muestreo tienen una superficie homogénea de 0,1 hectárea de extensión, aproximadamente, y en cada una de ellas se recogieron al azar tres repeticiones, en cada uno de los tres muestreos. Cada especie tuvo, por tanto, nueve repeticiones por cada tipo de suelo y muestreo.

La única especie muestreada en la Venta de los Yesos fue Lepidium subulatum, Mientras que en el karst de Sorbas-Los Castaños se muestrearon las cuatro especies restantes, en cada uno de los emplazamientos y con las repeticiones ya indicadas.

De cada planta y repetición se muestrearon las hojas de las ramitas de la parte media-superior del tallo, en una cantidad de, aproximadamente, 15 g. de material vegetal. Posteriormente, las tres repeticiones de cada muestra se homogenizaron en una sola, para proceder a su análisis. En la analítica se trabajó, por tanto, con tres repeticiones de cada planta recogida por muestreo y suelo.

El material así obtenido se introdujo en bolsas de plástico perforadas y convenientemente rotuladas con objeto de identificarlas bien en el laboratorio, y fueron transportadas en condiciones de frío.

Ulrich (1952) considera que no existen fluctuaciones grandes en el contenido de nutrientes en hojas recolectadas a distintas horas del día. No obstante, en este trabajo hemos preferido seguir el criterio de Mitchell y Chandler (1939), realizando todos los muestreos a primeras horas de la mañana, entre las nueve y diez horas, con el propósito de eliminar la influencia de las variaciones climatológicas diarias.

3.3. MATERIAL VEGETAL FRESCO.

-PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

Las hojas muestreadas fueron sometidas a un proceso de descontaminación (Wolf, 1982), se hicieron dos submuestras, una de ellas se introdujo en un congelador (-20 °C) y con las otras muestras se siguió el

procedimiento descrito más adelante.

-PROTEINAS SOLUBLES.

Se pesaron 0,5 g. de material vegetal fresco y se maceraron en 5 ml de tampón fosfato 50 mM (pH 7). El extracto así obtenido se filtró y contrifugó a 12000 g durante 15 minutos. Se pipetearon 0,2 ml de sobrenadante, para añadirle a continuación 10 ml del colorante Azul de Coomasie. Se agitó por inversión del tubo y pasado un tiempo, entre 5 y 60 minutos, se realizó la lectura a 595 nm. Igual procedimiento se siguió con la curva patrón de albúmina bovina. El resultado se expresó en mg/g peso fresco (Bradford, 1976).

-AMINOACIDOS SOLUBLES.

La metodología seguida fue la propuesta por Moore y Stein (1954). Del extracto anterior se tomaron 0,5 ml y se le añadieron 1,5 ml de reactivo de ninhidrina. Dicha mezcla se introdujo en un baño de agua a 100 °C durante 20 minutos. Seguidamente se adicionaron 8 ml de propanol al 50%, y a los 10 minutos se procedió a su lectura a 570 nm frente a una curva patrón de glicocola-ninhidrina. Los resultados obtenidos se expresaron en mg de glicocola/g de peso fresco.

-CLOROFILAS.

El método seguido es el de Hiscox e Israelstam (1979), que consiste en sumergir en 10 ml de dimetil-sulfóxido taleolas de 5 mm de diámetro y un peso total de 250 mg en un baño termostizado a una temperatura de 65 °C durante 60 minutos. Pasado dicho tiempo se midió la intensidad de color en un espectrofotómetro frente al correspondiente blanco y a las longitudes de onda indicadas por Bruinsma (1963). Los contenidos en clorofilas se expresaron en mg de clorofila por cada 100 g de peso fresco según las ecuaciones de Mckinney (1941).

-CAROTENOS.

El procedimiento seguido fue el utilizado por Jaspas (1965), y consiste en una lectura realizada en el extracto anterior a una longitud de onda de 502 nm y aplicando la fórmula propuesta por dicho autor. El resultado se expresó en mg de carotenos en 100 g de peso fresco.

-NITRATO REDUCTASA ENDOGENA.

Se determinó por el método de Harper y Hegeman (1972) y modificado por Valenzuela (1990).

Se obtuvieron discos de tejido foliar de un diámetro de 5 mm., que se incubaron 120 minutos a 27°C en oscuridad, en 5 ml de una solución a base de tampón fosfato 100 mM (pH 7,5) y l-propanol al 1% (v/v). Previamente a la incubación las muestras fueron sometidas a un proceso de vacío (aproximadamente 20 mm de Hg) durante 3 minutos. El NO₂ obtenido se valoró por medio del color rojo que se desarrolla al agregar 2 ml de sulfanilamida al 1% (p/v) en HCL 1,5 N y 2 ml de dihidro cloruro de N-(l-naftil)-etilendiamida al 0,02% (p/v) preparada en HCL 0,2 N, el volumen se ajustó a una cantidad constante y la intensidad de color desarrollado se midió a 540 nm en un espectrofotómetro frente a una curva patrón de NO₂ (Snell y Snell, 1949). Los resultados se expresaron en µM de NO₂ formados en 60 minutos y por g. de peso fresco.

-NITRATO Y NITRITO REDUCTASA ENDOGENA.

Se midieron por el método de Harper y Hageman (1972), con pequeños cambios para utilizar la metodología descrita por Bar-Akiva et al. (1970), y debido al material vegetal empleado.

-PROLINA.

Se pesó 0,5 g de material vegetal y se maceró con 5 ml de ácido sulfosalicílico al 3%, y se filtró. De este filtrado se cogió 1 ml, y se le añadió 1 ml de ninhidrina y 1 ml de ácido acético. La mezcla se incubó durante 1 hora a 100 °C. Luego se paró la reacción por inmersión de la muestra en un baño de hielo y adición de 4 ml de tolueno. La medida de la prolina se realizó en espectrofotómetro a 520 nm, a partir de la fase coloreada formada después de una agitación vigorosa (Bates, 1973).

3.4. MATERIAL VEGETAL SECO.

DIGESTION SULFURICA.

Del material vegetal preparado como se indicó, se pesó una cantidad que se sometió a mineralización con H_2SO_4 al 30%, libre de P, (Wolf, 1982), del que se tomaron las correspondientes alícuotas en las que se determinaron N orgánico, P, B, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu y Zn.

-NITROGENO ORGANICO.

Se tomó una alícuota del mineralizado sulfúrico, a la que se le añadieron ciertas cantidades de los siguientes reactivos:

-Buffer de trabajo: 0,1 M $Na_2HPO_4 \cdot 12 H_2O$; tartrato Na-K, al 5% y NaOH al 5,4%; luego, se agitó vigorosamente.

-Salicilato sódico-Nitroprusiato sódico (15%-0,03%, respectivamente), y también se agitó.

-Hipoclorito sódico al 5,25%, y se volvió a agitar.

La mezcla resultante se dejó en reposo durante 45 minutos a 25 °C y en oscuridad. Transcurrido este tiempo se procedió a su lectura por espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm, frente a una curva patrón de $(NH_4)_2SO_4$, agitando vigorosamente, de nuevo, cada muestra antes de proceder a su lectura espectrofotométrica, con objeto de evitar la formación de precipitados (Benton Jones JR. et al., 1991).

-POTASIO Y SODIO.

El método de medida es la fotometría de llama (Lachica et al., 1973). Se tomó una alícuota de 0,1 ml de mineralizado sulfúrico, que se pasó a un tubo de ensayo completando con agua destilada hasta un volumen de 10 ml. Se agitó la solución y se midió en espectrofotómetro de llama, usando el filtro correspondiente al potasio y sodio.

Las lecturas correspondientes fueron interpoladas en la curva de valoración obtenida con una serie de patrones de potasio y sodio respectivamente. (Lachica et al., 1973)

-CALCIO Y MAGNESIO.

Fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Hocking y Pate, 1977).

El calcio puede formar compuestos difícilmente atomizables en la llama, pudiendo estar su determinación a errores por la formación de compuestos refractarios. La adición de lantano, usando una llama

de aire-acetileno, subsana este inconveniente y permite una medida exacta del calcio (Pinta, 1973). La determinación del magnesio por espectrofotometría de absorción atómica no presenta estos problemas.

La medida de magnesio se realizó en la solución hecha para la determinación del K y Na. Para medir el Ca, el agua se sustituyó por una solución de óxido de lantano al 0,3%, en igual proporción a las anteriores.

-FOSFORO.

A una alícuota del mineralizado sulfúrico se le añadió una determinada cantidad de reactivo nitrovanadomolibdico, formado por 5 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, 25 g de metavanadato amónico (NH_4VO_3) y 70 ml de HNO_3 al 60%, todo disuelto en 500 ml de H_2O destilada.

Pasada una hora se efectuó la lectura espectrofotométrica a una longitud de onda de 430 nm, frente a una curva patrón de KPO_4H_4 , (Kitson y Mellon, 1944).

-BORO.

Por colorimetría (Wolf, 1971; Lachica,, 1976)

DIGESTION NITRICO/PERCLORICO.

Una determinada cantidad del material vegetal molido y seco fue sometido a una digestión, con una mezcla de $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (v/v) y H_2O_2 al 30%. En el mineralizado resultante se determinó el S orgánico presente en el tejido.

-AZUFRE ORGANICO.

La determinación del S orgánico se efectuó sobre una alícuota del mineralizado utilizando BaSO_4 en suspensión por medio de un agente tensoactivo como es la goma arábiga, todo ello frente a una curva patrón de K_2SO_4 y realizando la lectura turbidimétrica a 435 nm (Novozamsky y van Eck, 1977).

EXTRACCION DE LAS FORMAS SOLUBLES IONICAS.

EN MEDIO ACUOSO.

Se utilizó el método propuesto por Cataldo et al. (1975). En un tubo se introdujeron 100 mg de material vegetal finamente molido y seco. Se le añadieron 10 ml de agua destilada y seguidamente se procedió a su extracción en un baño termostatzado a 60 °C durante 120 minutos, pasado este tiempo se filtró y en el extracto resultante se midieron K, Na, NH_4 , NO_3 , Cl y SO_4 . Na y K se midieron como se indicó en el apartado correspondiente a la digestión sulfúrica del material vegetal seco.

-AMONIO.

Con una alícuota del extracto acuoso se procedió como en el método descrito para el N orgánico.

-NITRATOS

Del extracto resultante del proceso anterior se tomó una alícuota de 0,2 ml a la que se añadieron 0,8 ml de una solución formada por ácido salicílico y ácido sulfúrico al 5%, para posteriormente adicionar 19 ml de Na(OH) 2 N y proceder a continuación a su cuantificación mediante la medida de la intensidad de color a 410 nm frente a una curva patrón de NO_3^- (Cataldo et al. 1975).

-CLORUROS.

Para su determinación se utilizó el método de Koltoff y Kuroda (1951), modificado por Chapman y Pratt (1961).

-SULFATOS.

En un matraz se introdujo una alícuota del extracto a la que se le añadieron 10 ml de una solución de BaSO_4 en suspensión con goma arábiga y se llevó a volumen constante mediante adición de agua destilada. Posteriormente se realizó la lectura turbidimétrica en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 435 nm frente a una curva patrón de K_2SO_4 (Novozamsky y van Eck, 1977)

FRACCIONES IONICAS.

Algunos nutrientes (P, Ca, Mg) se encuentran en las plantas siempre en forma de radicales, bien como P, Ca o Mg inorgánicos, bien combinados con numerosos compuestos orgánicos o formando parte de estructuras del vegetal.

Con las muestras bien molidas y secas se procedió a realizar diferentes extracciones con distintos agentes químicos y su posterior valoración. Cada una de las extracciones libera el nutriente que se encuentra en una estructura o compuesto determinado.

-FÓSFORO.

Se utiliza el método propuesto por Hogue et al. (1970), modificado por Carpena et al. (1973) y con las modificaciones oportunas requeridas para nuestro material vegetal y cuyo proceso fue el siguiente:

A 1 g de material vegetal se le añadieron 10 ml de HClO_4 0,2 N, se agitó durante sesenta minutos y se centrifugó a 3.000 g y se filtró. Con 3 ml del extracto obtenido se determinó el P-inorgánico y parte del resto se sometió a desecación y mineralización para obtener el P-orgánico soluble.

El P se determinó con el método de Kitson y Mellon (1944), ya descrito.

-CALCIO Y MAGNESIO.

El polvo vegetal seco y molido se trató como a continuación se indica para la obtención de las fracciones. (Carpena et al., 1977; López Cantarero, 1992).

-Calcio inorgánico y Magnesio clorofílico.

A 1 g de polvo vegetal se le adicionaron 25 ml de agua destilada y se agitó durante 180 minutos., centrifugandose posteriormente a 3.000 g durante 5 minutos.

-Calcio ligado a pectatos y Magnesio ligado a aniones orgánicos.

El material vegetal resultante del proceso anterior fue recogido en un tubo de ensayo y se desecó en estufa de aire forzado durante 24 horas a 70°C , luego se trató con 15 ml de NaNO_3 2 N, agitandose durante

120 minutos, y repitiéndose el proceso anterior.

-Calcio ligado a fosfatos y Magnesio ligado a aniones ácidos orgánicos.

A la nueva fracción sólida resultante se le añaden 15 ml de ácido acético al 10 %, y se mantiene en agitación durante 240 minutos, para ser sometida a posteriores procesos de centrifugación a 3.000 g, y secado del material vegetal recogido en un tubo de ensayo.

-Calcio formando oxalatos y Magnesio asociado a pectatos y oxalatos.

El resto del material vegetal insoluble en el ácido acético, se trató con HCl 2 N agitándose durante 240 minutos, sometiéndolo a centrifugación y filtrado.

El Ca y Mg de cada fracción fueron determinados, previa desecación de las correspondientes alícuotas de cada una de las fracciones, mediante mineralización sulfúrica de los residuos secos resultantes, como se describe en el apartado 3.4.1. Las medidas de ambas formas iónicas fueron determinadas con el método de Hocking y Pate (1977, que se explicó anteriormente):

-HIDRATOS DE CARBONO.

La metodología fue la propuesta por Upmeyer y Koller (1973), con las transformaciones necesarias para nuestro material vegetal. Se pesaron 100 mg de polvo vegetal y se introdujeron en un tubo de ensayo, para ser sometido a continuación a una extracción mediante tratamiento con etanol al 80 % a temperatura de 80 °C en baño termostatzado durante sesenta minutos. Luego se centrifugó a 1.800 g durante 15 minutos, para obtener el sobrenadante y determinar en él la glucosa, fructosa y sacarosa presentes en el tejido vegetal. El residuo resultante se hidrolizó por medio de la enzima amiloglucosidasa a temperatura constante de 38 °C durante 48 horas, en medio tamponado de acetato-acético 4 M (pH 4,5). Tras la filtración se cuantificó la concentración de almidón existente.

Los distintos hidratos de carbono se midieron según sus respectivas curvas patrones, a una longitud de onda de 480 nm, según el método del fenol-sulfúrico (Hodge y Hofreiter, 1962).

RESULTADOS Y DISCUSION

1. ANALISIS DE LA COMUNIDAD VEGETAL.

Del gran número de especies pertenecientes al matorral que se muestrearon, las especies gipsícolas encontradas fueron Gypsophila struthium, Helianthemum squamatum, Helianthemum alypoides, Ononis tridentata, Sedum gipsicola, Teucrium turredanum, Coris hispanica, Santolina viscosa y Lepidium subulatum, pertenecientes al orden Gypsophiletalia (Rivas-Martinez Y Costa, 1970) El resto fueron pequeños caméfitos del matorral subserial mediterráneo (Rosmarinus officinalis, Thymus hyemalis, Fumana thymifolia, Anthyllis terniflora, Fumana ericoides, Franckenia Thymifolia, Anthyllis citysoides, Helianthemum lavandulifolium, entre las más abundantes).

En la tabla 1 se muestra el porcentaje de especies gipsícolas e individuos pertenecientes a esas especies respecto al total, el contenido en cationes del extracto saturado (ppm) y la salinidad (mmho/cm) de las parcelas muestreadas.

Es digno observar cómo las tres posiciones de ladera elegidas para muestrear tienen valores netamente diferenciados de Ca en el extracto de saturación. Efectivamente, los suelos NA (no alterados), A (alterados) y L (lavados), aparecen perfectamente discriminados en sus concentraciones de Ca, justificando su elección para el estudio del gradiente de vegetación. La conductividad eléctrica también disminuye desde las posiciones de yesos hasta los suelos lavados, mientras que el resto de los cationes medidos presentan un comportamiento independiente y aleatorio (Tabla 2).

De la misma forma, el porcentaje de especies consideradas gipsófilas disminuye apreciablemente conforme nos acercamos a los suelos lavados, y también el porcentaje de gipsófitos encontrados (Tabla 2).

En la tabla 3 se muestra el análisis de correlaciones realizado. El contenido de Ca en la solución del suelo está directamente relacionado con el número de especies gipsícolas que aparecen en la muestra, y sobre todo con el número de elementos gipsófitos contabilizados. El resto de los cationes del extracto de saturación tienen un comportamiento independiente. La conductividad eléctrica presenta una buena correlación con el porcentaje de individuos, y una muy buena correlación con el de especies. Esto es lógico, dado que las sales presentes en este sustrato son, fundamentalmente, las producidas por la disolución del yeso, esto es, CaSO_4 , y por tanto la conductividad se relaciona de forma muy directa con el nivel de yeso y el de Ca en la solución del suelo.

En la figura 1 pueden verse el peso específico de algunas de las especies gipsícolas muestreadas en cada tipo de suelo, expresado en porcentajes de individuos de una especie sobre el total de individuos contabilizados. No aparecen Ononis tridentata ni Sedum gipsicola. La primera es una especie de mayor porte que las demás, que suele aparecer de forma contagiosa en agrupamientos dispersos, sobre suelos algo evolucionados. El segundo, por el contrario, vive preferentemente sobre las costras de yeso, y ninguno presentaba, en la parcela de muestreo, una presencia mayor que esporádica. Lepidium subulatum tampoco aparece, pues la mayor parte de las muestras se tomaron en una zona fuera de su área de distribución. Para Teucrium turredanum sólo se tuvieron en cuenta las parcelas incluidas en su corología.

Helianthemum squamatum es la especie más frecuente sobre estos sustratos yesíferos, al menos en cuanto a número de ejemplares, pues en cuanto a cobertura seguramente no es así. La mayoría de las especies gipsícolas son más abundantes sobre los suelos no alterados, los más ricos en yeso, prueba de la gran especificidad del hábitat. Conforme nos dirigimos hacia los suelos más evolucionados, su proporción disminuye

bruscamente, haciéndose prácticamente nula en los suelos lavados, donde muchas de ellas no aparecen. Helianthemum alypoides y Helianthemum lavandulifolium son dos excepciones significativas a este comportamiento, ya que abundan más en los suelos intermedios, alterados. Helianthemum alypoides, en concreto, parece tener un margen ecológico bastante estrecho, prosperando de forma idónea en los sustratos que no tienen una concentración ni excesiva ni demasiado baja de yesos. Helianthemum lavandulifolium, Thymus hyemalis y Frankenia thymifolia no son plantas gipsícolas, y abundan extraordinariamente en el matorral subserial calcícola de los alrededores, en ausencia de yesos, donde ya no aparecen ninguna de las otras especies. Su poca presencia en los suelos lavados se debe, seguramente, a que son más propios de otras comunidades de plantas, más o menos nitrófilas e invasoras, propias de cultivos abandonados (comunidades de Pegano-Salsoletea).

En la figura 2 se muestran las frecuencias de aparición de cada especie en los tres suelos. Gypsophila struthium, Santolina viscosa y Coris hispanica son muy difíciles de encontrar sobre suelos lavados. Las demás son relativamente fáciles de encontrar, aunque la proporción de individuos presentes sea muy baja.

Tabla 1. Porcentaje de elementos y especies gipsícolas, contenido en catones del extracto saturado (ppm) y salinidad (mmho/cm) de las parcelas muestreadas.

SUELO	% Sp	% Ind	Ca	Mg	K	Na	CE 25
NA	50	63	483	24	3	9	3,00
NA	58	78	409	24	3	7	2,75
NA	36	68	454	9	2	4	2,72
NA	56	70	432	18	3	5	6,90
NA	53	93	512	21	15	22	3,00
NA	50	61	425	5	5	5	2,72
NA	50	50	462	14	2	5	4,21
A	33	38	390	29	3	9	1,27
A	31	17	389	8	2	8	2,13
A	11	4	425	10	3	2	2,08
A	16	12	365	29	9	9	2,72
L	25	1	180	6	2	2	1,01
L	8	1	190	5	5	3	1,07
L	0	0	210	7	0	24	0,40

NA: Suelo de yesos sin alterar. A: Suelo de yesos alterado. L: Suelo lavado. % Sp: Porcentaje de especies gipsícolas respecto al total de especies.

% Ind: Porcentaje de individuos gipsófitos respecto al total de individuos de matorral.

Tabla 2: Valores medios de Ca, Mg, K, Na (ppm) y conductividad eléctrica (mmhos/cm), medidos en el extracto de saturación; porcentaje de especies gipsícolas y de individuos pertenecientes a esas especies respecto al total. Media de separación por columnas según el test de rangos múltiples de Duncan. Nivel de significación al 5 por cien.

SUELO	Ca	Mg	K	Na	Ce 25	% Sp	% Ind
NA	454c	16a	5a	8a	3,62b	50,4b	69b
A	392b	19a	4a	7a	2,05ab	22,8a	20,a
L	193a	6a	2a	10a	0,83a	11a	0,7a
N.S.	,0000	,1357	,6896	,8925	,0148	,0001	,0000

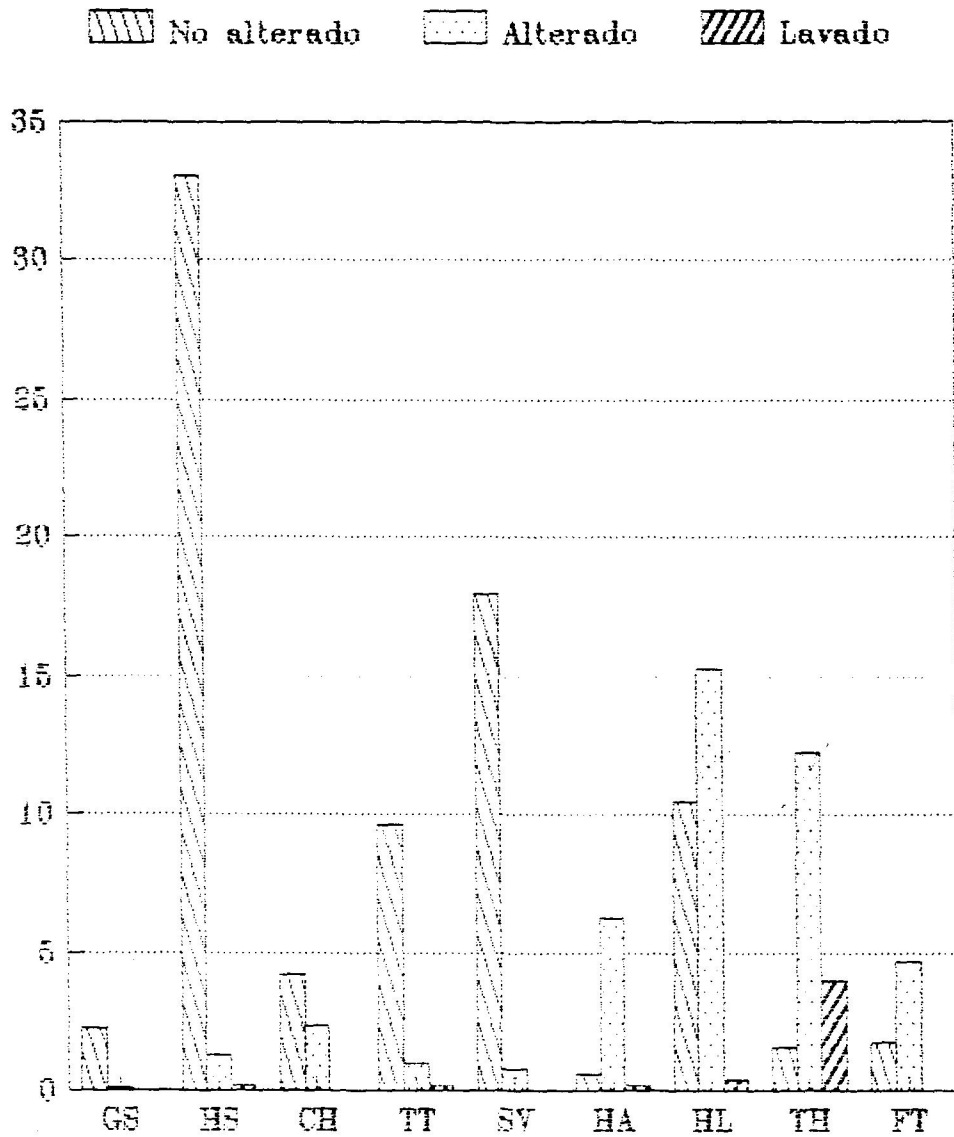
NA: Suelo de yesos sin alterar. A: Suelo de yesos alterado. L: Suelo lavado. % Sp: Porcentaje de especies gipsófilas respecto al total de especies.

% Ind: Porcentaje de individuos gipsófitos respecto al total.

Tabla 3: Analisis de correlaciones. Tamaño de la muestra: 14. *:Coeficiente. **:Nivel de significación.

	% Ind	Ca	Mg	K	Na	CE
% Sp	0,9141*	0,7221	0,3647	0,2033	-0,0890	0,6910
	0,0000**	0,0035	0,1998	0,4856	0,7622	0,0062
% Ind		0,7927	0,3869	0,3490	0,1411	0,6189
		0,0007	0,1718	0,2213	0,6303	0,0183

PORCENTAJE DE INDIVIDUOS DE DIVERSAS
ESPECIES, EN YESOS Y SUELOS RELACIONADOS



GS: *Gypsophila struthium*, HS: *Hellanthemum squamatum*.

CH: *Coris hispanica*, TT: *Taurium turradanum*.

SV: *Santolina viscosa*, HA: *Hellanthemum alypolgae*

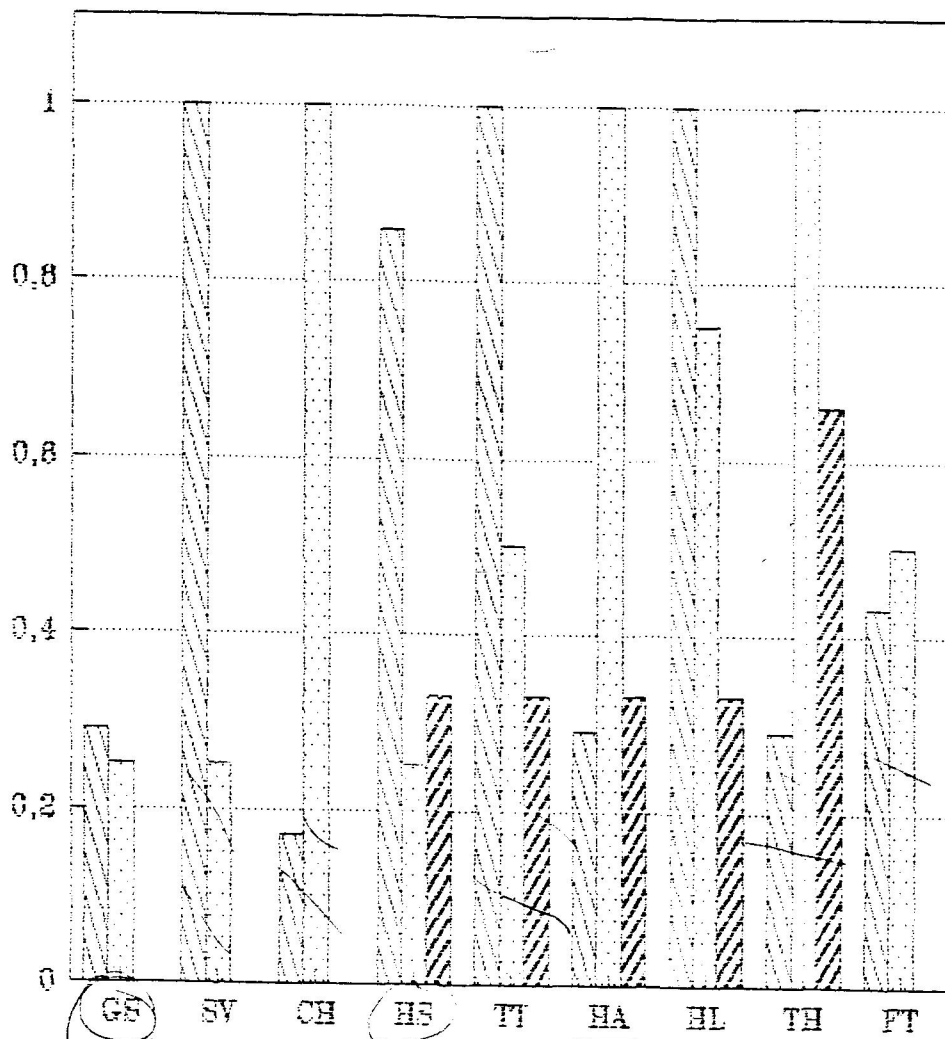
HL: *Hellanthemum lavandulifolium*

TH: *Thymus nymalis*, FT: *Frankaria thymifolia*

Fig 1

FRECUENCIAS DE VARIAS ESPECIES CRECIENDO
 SOBRE YESOS Y SUELOS RELACIONADOS.

No alterado
 Alterado
 Lavado



GS: *Gypsochloa struthium*, HS: *Hellanthemum squaratum*,
 CH: *Caris hispanica*, TT: *Taurium turradanum*,
 SV: *Santolina viscosa*, HA: *Hellanthemum alypolase*,
 HL: *Hellanthemum lavandulifolium*,
 TH: *Thymus praecox*, PT: *Phacelia tanacetifolia*

Fig. 2

2. ANALISIS DE LOS SUELOS.

2.1. SUELOS POBRES EN YESO:

Perfil Num. 1.

Clasificación: yermosol háplico.

Situación: C/ Sorbas-Carboneras, km. 4, un kilómetro al SO (Peñón Díaz). Provincia de almería.

Hoja topográfica: 1.031.

Coordenadas U.T.M.: 5813-41049

Altitud: 420 m.

Posición fisiográfica: Pequeña depresión.

Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulada.

Pendiente: Clase 2. Suavemente inclinado (4 por 100).

Orientación: sur.

Vegetación o uso: Matorral de porte medio y vegetación de gramíneas. Gipsófitos aislados. Buena cobertura (50 por 100).

Material original: Depósito de yeso.

Drenaje: Clase 2. Imperfectamente drenados.

Condiciones de humedad: Seco en todo el perfil.

Pedregosidad: Clase 0. Sin piedras.

Afloramientos rocosos: Clase 2. Rocoso (yeso en superficie).

Salinidad: Ligeramente salino.

Erosión: Cárcavas y surcos, moderada.

Hor	P.cm.	Descripción
Ah	0-20	Color pardo oscuro (7,5YR 3/3) en húmedo y pardo (7,5YR 5/4) en seco. Textura franca. Estructura moderada, granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y blando. Poros, frecuentes, finos y medianos, continuos, verticales, inped, tubulares. No hay fragmentos rocosos. Fuertemente calcáreo. Raíces, pocas, finas y medianas. Límite neto y plano.
Bw	20-48	Color pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco. Textura franca. Estructura, débil, granular, media. Adherente, plástico, friable y ligeramente duro. Poros, muy pocos, muy finos, discontinuos, verticales e intersticiales. Fragmentos rocosos, pocos (4 por 100), gravilla. Nódulos, pocos, pequeños, duros y calcáreos. Fuertemente calcáreo. No enraizado. Límite, difuso y plano.
BC	48-84	Color pardo oscuro (7,5YR 4/6) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco. Textura franca. Sin estructura, aglomerado. Adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. No poroso. Fragmentos rocosos, frecuentes (17 por 100), gravilla. Nódulos, frecuentes, pequeños, blandos, esféricos, calcáreos. Fuertemente calcáreo. No enraizado. Límite, difuso y plano.
C	84-120	Color pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo y amarillo rojizo (7,5 YR 6/6) en seco. Textura franco-arenosa fino. Sin estructura, aglomerado. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable y duro. No poroso. Sin fragmentos rocosos. Nódulos, muy pocos, pequeños y blandos. Fuertemente calcáreo. Límite neto y plano.
R	120-180	Nivel de yeso cristalizado.

RESULTADOS ANALITICOS ARENAS (%)

Hor.	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
Ah	1,38	40,53	47,76	11,71
Bw	4,17	38,13	41,18	20,69
BC	17,87	45,91	36,18	17,91
C	3,39	66,43	23,11	10,46

H.	C.O. (%)	N (%)	C/N	pf (at)		
				W 1/3	W 15	Au (mm/cm)
Ah	0,30	0,08	3,75	20,32	7,77	1,91
Bw	0,59	0,07	8,43	21,94	10,0	1,73
BC	0,20	0,04	5,00	21,96	7,42	2,00
C	0,05	0,03	1,67	12,66	4,81	1,25

H.	Carbonatos(%)	CE 25 (mmho/cm)	yesos (%)
Ah	41,65	1,86	9,01
Bw	33,07	1,01	9,61
BC	29,13	0,68	10,81
C	27,11	1,10	7,72

Bases y Capacidad (meq/100gr)						
Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Ah	0,21	0,42	48,90	0,99	12,80	100
Bw	0,16	0,24	54,39	1,07	14,24	100
BC	0,14	0,20	46,11	0,82	9,79	100
C	0,13	0,17	41,92	1,31	6,54	100

Extracto de Saturación (mg/100gr)						
Hor.	pH	Sulfatos	Na	K	Mg	Ca
Ah	7,98	1228	2,93	0,884	0,35	58
Bw	8,07	1023	2,653	0,134	0,200	51
BC	8,26	638	2,175	0,106	0,25	23
C	8,27	666	2,426	0,216	0,3	30

Micronutrientes (ppm)				
Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Ah	3,3	0,4	8,3	0,8
Bw	2,5	0,1	4,9	0,9
BC	2,5	0	3,7	0,5
C	2,2	0	2,9	0,3

Perfil Num. 2.
 Clasificación: Yermosol háplico.
 Situación: 2 Km. al sur del KM. 180 de la N-340 (Area del Cerrón). Provincia de almería.
 Hoja topográfica 1.031.
 Coordenadas U.T.M.: 5844-41088.
 Altitud 420 m.
 Posición fisiográfica: planicie.
 Forma del terreno circundante: ondulado.
 Pendiente: Clase 1. Casi llano (2 por 100).
 Orientación: Oeste.
 Vegetación o uso: Matorral nitrófilo de poco porte. Algún gipsófito. Cobertura, 20 por 100.
 Material original: yesos.
 Drenaje: clase 3. Moderadamente bien drenado.
 Condiciones de humedad: Seco en todo el perfil.
 Pedregosidad: Clase 0. No pedregoso.
 Afloramientos rocosos: clase 0. No rocoso.
 Salinidad: No salino.
 Erosión: Eólica, moderada.

Ho.	P. cm.	DESCRIPCION
Au1	0-7	Color pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura, franco-arenoso fino. Estructura, débil, en bloques subangulares muy finos con tendencia en superficie a laminar. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable y ligeramente duro. Poros, frecuentes, finos y medianos, continuos, inped. y tubulares. pocos fragmentos rocosos (5 por 100), grava fina, calcárea. Calcáreo. Raíces comunes, finas y medianas. Límite, neto y plano.
Au2	7-18	Color pardo rojizo (7,5YR 4/6) en húmedo y rojo amarillento (5YR 5/6) en seco. Textura, franca. Estructura, moderada, bloques subangulares, medianos a finos. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Poros, frecuentes, muy finos y medianos, continuos, oblicuos, tubulares. pocos fragmentos rocosos (5 por 100). Fuertemente calcáreo. Raíces, comunes, finas y medianas. Límite, neto y plano.
Bw	18-55	Color pardo oscuro (7,5YR 4/6) en húmedo y amarillo rojizo (7,5YR 6/6) en seco. Textura, franca. Estructura en bloques subangulares medianos y grandes, fuerte. Adherente, plástico, firme y duro. Poros, frecuentes finos y medianos, continuos, inped., oblicuos y tubulares. pocos fragmentos rocosos (5 por 100). Nódulos, frecuentes, pequeños, blandos e irregulares. Fuertemente calcáreo. Raíces, muy pocas, medianas y finas. Límite, brusco y plano.
R	55-100	Yeso cristalino.

RESULTADOS ANALITICOS

Hor.	TEXTURAL (%)					
	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	pf	(at)
Au1	5,50	52,46	37,81	9,73		
Au2	5,90	51,49	34,66	13,85		
Bw	6,50	44,52	35,13	20,40		

Ho.	C.O.(%)	N(%)	C/N	W 1/3	W 15	Au (mm/cm)
Au1	0,39	0,08	4,87	20,88	6,20	2,16
Au2	0,29	0,07	4,14	20,77	6,62	2,12
Bw	0,04	0,04	1,00	22,22	7,73	2,17

Hor.	Carbonatos (%)	CE 25 (mmho/cm.)	Yesos(%)
Au1	8,72	0,50	8,49
Au2	37,42	0,33	9,27
Bw	37,79	0,52	2,70

Bases y Capacidad (meq/100g)

Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Au1	0,09	0,49	32,14	0,66	9,82	100
Au2	0,11	0,23	32,04	0,41	10,39	100
Bw	0,12	0,22	33,43	0,25	11,23	100

Extracto de Saturación (mg/100gr)

Hor.	pH	SO ₄ ²⁻	Na	K	Mg	Ca
Au1	8,36	219	2,63	1,041	0,55	22
Au2	8,35	309	2,107	0,161	0,4	16
Bw	8,29	369	3,013	0,079	0,2	19

Micronutrientes (ppm)

Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Au1	3,1	0,5	6,6	0,7
Au2	2,3	0,4	4,4	0,5
Bw	2,4	0,1	3,6	0,5

Perfil Num. 3.

Clasificación: Yermosol háplico.

Situación: karst de yesos de Sorbas, Venta de los Castaños, al sur de las canteras. Provincia de almería.

Hoja topográfica 1.031.

Altitud 520 m.

Posición fisiográfica: Fondo de valle. Terraza.

Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulado.

Pendiente: Clase 0. Llano.

Orientación:

Vegetación o uso: Matorral nitrófilo de poco porte. Algún gipsófito. Cultivo abandonado.

Material original: Material coluvial de yesos.

Drenaje: clase 4. Bien drenado.

Condiciones de humedad: Húmedos los primeros 10 cms.

Pedregosidad: Clase 0. No pedregoso.

Afloramientos rocosos: clase 0. No rocoso.

Salinidad: No salino.

Erosión: Deposition hídrica muy ligera.

Hor	P.cm.	Descripción
Ah	0-19	Color (7,5YR 4/4) en húmedo y (10YR 5/6) en seco. Textura franca. Estructura bloques subangulares finos y medianos. Fuerte. Adherente, plástico. Consistencia en húmedo friable, en seco ligeramente duro. Poros, tubulares, frecuentes, oblicuos, finos y muy finos, y pocos medianos, inped; muchos intersticiales, muy finos, exped. Sin fragmentos rocosos. Calcáreo. Raíces, muy abundantes, muy finas, finas y medianas, y comunes gruesas. Límite gradual y plano.
Bw	19-45	Color (10YR 5/6) en húmedo y (10YR 4/6) en seco. Textura franca. Estructura, fuerte, bloques subangulares medianos y gruesos. Muy adherente, plástico, friable y duro. Algo endurecido. Poros, tubulares, muchos, oblicuos, finos a medianos inped. Intersticiales, frecuentes, muy finos y exped. Sin fragmentos rocosos. Nódulos, muy pocos, pequeños, blandos, blancos, esféricos, de naturaleza gipsícola. Fuertemente calcáreo. Raíces comunes finas y medianas, alguna gruesa. Límite, gradual y plano. ¿Deposiciones de carbonato o yeso en los poros y raíces?
Bc	45-66	Color (10YR 4/5) en húmedo y (10YR 6/6) en seco. Textura franca. Estructura fuerte, bloques subangulares gruesos. Gran parte de la estructura se debe a la cementación. Existen zonas de estructura granular. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Débilmente cementado. Poros tubulares, muchos, oblicuos, finos y medianos, inped. Intersticiales, frecuentes y muy finos, exped. Sin fragmentos rocosos. Nódulos, pocos, pequeños, blandos, blancos, esféricos, de naturaleza gipsícola. Fuertemente calcáreo. Raíces comunes, finas y medianas, alguna gruesa. Límite, gradual y plano. Depósitos de carbonato y yeso en los poros y raíces.
C	66-82	Color (10YR 5/6) en húmedo y (10YR 6/6) en seco. Textura arenosa. Sin estructura, masivo. Algo cementado. No poroso. Sin fragmentos rocosos. Nódulos, muy pequeños y finos. Calcáreo. Raíces pocas, medianas y finas. Límite brusco y plano.
2Ahb	82-96	Color (10YR 3,5/4) en húmedo y (10YR 5/6) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura moderada, bloques subangulares gruesos y medianos, y desarrolla bloques subangulares finos y gruesos. Restos de estructura granular. Adherente, plástico. Consistencia en húmedo friable, en seco duro. Algo cementado. Poros, tubulares, frecuentes, oblicuos, finos y muy finos, inped; frecuentes intersticiales, finos y muy finos, exped. Sin fragmentos rocosos. Fuertemente calcáreo. Raíces, abundantes finas, y comunes muy finas. Límite neto y plano. Restos de carbón. Deposition de yesos en poros y raíces, muy abundante.
2Bw	96-135	Color (10YR 4/4) en húmedo y (10YR 5/6) en seco. Textura franco-arcillosa. Estructura, fuerte, bloques subangulares gruesos y muy gruesos. Muy adherente, muy plástico, friable y muy duro. Algo cementado. Poros, tubulares, frecuentes, oblicuos, finos y muy finos, inped; frecuentes intersticiales, finos y muy finos, exped. Sin fragmentos rocosos. Sin nódulos. Calcáreo. Raíces comunes finas y medianas. Límite, neto y plano. Depositiones de yesos en poros y raíces, muy abundante.
2C	>135	Fuertemente cementado. Pocas raíces.

RESULTADOS ANALITICOS

TEXTURAL(%)						
Hor.	Grava	Arena	Limo	Arcilla		
Ah	4,65	63,41	14,23	22,36		
Bw	1,38	77,06	0	22,94		
BC	-	81,37	0	18,63		
C	-	64,63	22,63	12,73		
pf (at)						
H.	C.O.(%)	N(%)	C/N	W 1/3	W 15	Au (mm/cm)
Ah	0,5	0,12	4,6	18,52	8,54	1,53
Bw	0,7	0,11	6,2	20,60	8,24	1,96
BC	-	-	-	16,06	8,21	1,27
C	-	-	-	13,89	6,28	1,22

H.	Carbonatos(%)	CE 25 (mmho/cm)	yesos (%)
Ah	13,14	1,07	21,62
Bw	12,80	2,11	4,91
BC	13,39	2,02	5,41
C	15,13	2,19	8,49

Bases y Capacidad (meq/100gr)						
Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Ah	0	0,16	201,09	0,16		100
Bw	0	0,18	61,88	0,37		100
BC	0	0,37	47,9	0,86		100
C	0,07	0,25	61,88	0,29		100

Extracto de Saturación (mg/100gr)						
Hor.	pH	SO ₄ ⁼	Na	K	Mg	Ca
Ah	7,48	1243	2,386	0,00	0,66	21,50
Bw	7,62	1292	2,727	0,00	0,55	66,30
BC	6,71	1323	2,613	0,00	0,77	66,80
C	7,89	1245	3,295	0,00	0,66	71,40

Micronutrientes (ppm)				
Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Ah	3,10	0,30	4,50	0,50
Bw	3,90	0,20	2,90	0,40
BC	2,60	0,20	2,40	0,50
C	2,10	0,10	2,20	0,40

2.2. SUELOS RICOS EN YESO.

Perfil Num. 4.

Clasificación: Yermosol gipsico

Situación: karst de yesos de Sorbas, canteras occidentales. Provincia de almería.

Hoja topográfica 1.031

Altitud 440 m.

Posición fisiográfica: Ladera fuertemente cóncava.

Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulado.

Pendiente: 10 por cien.

Orientación: NW

Vegetación o uso: Matorral gipsófilo.

Material original: Yeso masivo.

Drenaje: clase 3. Moderadamente bien drenado.

Condiciones de humedad: Húmedo todo el suelo.

Pedregosidad: Clase 0. No pedregoso.

Afloramientos rocosos: clase 2. Rocoso (10-25 %).

Erosión: Hídrica, laminar, muy ligera.

Hor	P.cm.	Descripción
Ah	0-8	Color (10YR 5/4) en húmedo y (10YR 7/4) en seco. Sin manchas de color. Textura franco-limosa. Estructura en bloques subangulares medianos y gruesos, débil. Adherente, plástico. Consistencia en húmedo friable, en seco duro. Poros, tubulares, pocos, oblicuos, finos, continuos, caóticos, inped; frecuentes intersticiales, finos y muy finos, exped. Fragmentos rocosos muy pocos, de naturaleza yesosa. Raíces, muy abundantes, finas, comunes medianas. Límite neto y ondulado.
AC	8-18	Color (2,5Y 5/3) en húmedo y (5Y 8/3) en seco. Textura franco-limosa. Estructura, muy débil, en bloques subangulares muy débiles. Algo cementado con abundantes nódulos de color blanco, pequeños e irregulares. Poros, pocos intersticiales y abundantes tubulares de tamaño muy fino. Raíces comunes medianas y alguna grande. Límite, neto y ondulado.
C	>18	Yesos.

RESULTADOS ANALITICOS TEXTURAL (%)

Hor.	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Ah	2,84	45,25	36,75	18,00
AC	-	49,64	32,36	18,00

pf (at)

Hor.	C.O.(%)	N(%)	C/N	W 1/3	W 15	Au (mm/cm)
Ah	1,1	0,20	5,5	46,77	22,43	3,74
AC	0,7	0,13	5,4	50,45	25,20	3,96

Bases y Capacidad (meq/100gr)

Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Ah	0,00	0,62	58,88	1,11	-	-
AC	0,03	0,18	154,03	0,25	-	-

de saturación (mg/100gr)

Extrato

Hor.	Ph	Sulfatos	Na	K	Mg	Ca
Ah	7,23	1373	34,09	18,46	16,50	1016,00
AC	8,16	1292	19,32	8,31	7,70	825

Micronutrientes (ppm)

Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Ah	3,00	0,50	1,70	0,30
AC	2,40	0,20	1,40	0,30

Perfil Num. 5

Clasificación: Yermosol gipsico

Situación: karst de yesos de Sorbas, canteras orientales, cerca de la Venta de Los Castaños. Provincia de almería.

Hoja topográfica 1.031.

Altitud 430 m.

Posición fisiográfica: Ladera plana.

Forma del terreno circundante: ondulado.

Pendiente: 8 por cien.

Orientación: S.

Vegetación o uso: Matorral gipsófilo.

Material original: Yeso cristalino.

Drenaje: clase 4. Bien drenado.

Condiciones de humedad: Húmedos los 3 cm. superiores.

Pedregosidad: Clase 0. No pedregoso.

Afloramientos rocosos: clase 2. Rocoso (10-25 %).

Erosión: Hídrica, laminar, muy ligera.

Hor	P.cm.	Descripción
Ah	0-4	Color (10YR 4/4) en húmedo y (10YR 6/4) en seco. Textura franca. No cementado. Estructura en bloques subangulares medianos y gruesos, moderada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico. Consistencia en húmedo muy friable, en seco ligeramente duro. Poros, tubulares, frecuentes, oblicuos, finos y medianos, inped; muchos intersticiales, finos y muy finos, exped. Fragmentos rocosos muy pocos, de naturaleza yesosa. Raíces, abundantes, muy finas, abundantes finas y pocas medianas. Límite brusco y plano.
AC	4-13	Color (2,5Y 5/3) en húmedo y (5Y 8/3) en seco. Sin manchas de color. Estructura, fuerte, en bloques subangulares gruesos. Cementado débilmente. Poros, frecuentes, intersticiales, exped muy finos y frecuentes tubulares finos y medianos, inped, continuos y oblicuos. Fragmentos rocosos: ninguno. Nódulos frecuentes, pequeños, blandos, irregulares, blancos. Raíces comunes finas y muy finas. Límite, brusco y ondulado.
C	>13-17	Masa pulverulenta blanca, endurecida, reacción ligeramente calcárea. Origen: yesos. Límite brusco y ondulado.

RESULTADOS ANALITICOS
TEXTURAL (%)

Hor.	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Ah	1,36	59,41	16,05	24,54
AC	-	73,92	8,00	18,08

pf (at)

Hor.	C.O.(%)	N.(%)	C/N	W 1/3	W 15	Au(mm/cm)
Ah	2,4	0,30	7,9	23,97	11,28	1,98
AC	1,0	0,17	5,8	27,96	13,02	2,43

Hor.	Carbonatos(%)	CE 25 (mmho/cm)	yesos (%)
Ah	8,71	2,27	4,28
AC	7,43	2,56	20,37

Bases y Capacidad (meq/100gr)

Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Ah	0,00	0,21	201,94	0,29		
AC	0,03	0,37	197,87	0,53		

de saturación (mg/100gr)

Extracto

Hor.	Ph	Sulfatos	Na	K	Mg	Ca
Ah	7,80	1303	15,91	3,69	7,70	542,00
AC	5,82	1400	11,36	2,77	7,70	892,00

Micronutrientes (ppm)

Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Ah	4,10	1,30	2,20	0,50
AC	3,60	0,60	2,40	0,30

Perfil Num. 6
 Clasificación: Yermosol gipsico.
 Situación: karst de yesos de Sorbas, canteras occidentales, al norte. Provincia de almería.
 Hoja topográfica 1.031.
 Altitud 440 m.
 Posición fisiográfica: Ladera.
 Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulado.
 Pendiente: 15 por cien.
 Orientación: Sur.
 Vegetación o uso: Matorral gipsófilo.
 Material original: Yeso masivo.
 Drenaje: clase 4. Bien drenado.
 Condiciones de humedad: Húmedo todo el suelo.
 Pedregosidad: Clase 0. No pedregoso.
 Afloramientos rocosos: clase 3. Muy rocoso.
 Sin erosión.

Hor	P.cm.	Descripción
Ah	0-7	Color (10YR 5/4) en húmedo y (10YR 7/4) en seco. Textura franco-limosa. Estructura en bloques subangulares medianos y gruesos, moderada. Adherente, plástico. Consistencia en húmedo friable, en seco duro. Poros, muchos tubulares, oblicuos, finos y muy finos, inped; muchos intersticiales, finos y muy finos, exped. Fragmentos rocosos muy pocos, de naturaleza yesosa. En la base del horizonte hay nódulos. Raíces, abundantes muy finas, abundantes finas y frecuentes medianas. Límite neto y plano.
C	>7	Yeso no cristalino algo alterado.

RESULTADOS ANALITICOS
TEXTURAL (%)

Hor.	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Ah	2,99	51,41	34,71	13,88

Hor.	C.O.(%)	N(%)	C/N	pf (at)		Au(mm/cm)
				W 1/3	W 15	
Ah	0,9	0,20	4,3	25,16	11,26	2,16

Hor.	Carbonatos(%)	CE 25 (mmho/cm)	yesos (%)
Ah	11,52	2,27	10,49

Bases y Capacidad (meq/100gr)						
Hor.	Na	K	Ca	Mg	C.E.C.	V(%)
Ah	0,00	0,16	208,23	0,21		

de saturación (mg/100gr)						
Hor.	Ph	Sulfatos	Na	K	Mg	Ca
Ah	7,77	1258	7,95	0,92	7,70	772,00

Micronutrientes (ppm)				
Hor.	Fe	Zn	Mn	Cu
Ah	2,40	0,60	1,30	0,50

2.3. DISCUSION.

Pueden observarse en la tabla 4 las diferencias más significativas que hemos encontrado en ambos tipos de suelo.

Hay varios aspectos que deseamos destacar, por su posible importancia en la vida vegetal que se instala sobre ellos.

1. La diferencia de profundidad en ambos suelos: 13 cms de media en los yermosoles gípsicos, frente a 86 cms de los háplicos.

2. En segundo lugar, las diferencias de yesos y carbonatos. El yermosol háplico es un suelo muy carbonatado, y con poca presencia de yesos, al contrario que el yermosol gípsico, donde prácticamente no encontramos carbonatos, y sí mucho yeso. Dadas las distintas propiedades de yesos y carbonatos en higroscopicidad y solubilidad, ésta será la clave para comprender algunos de los demás parámetros.

3. Las diferencias encontradas en la Capacidad de retención de agua, el Agua útil y la Reserva hídrica disponible, son muy acusadas.

La Capacidad de retención de agua del yermosol gípsico es sobresaliente, tanto a 1/3 como a 15 atmósferas, y muy superior a la del otro suelo. Ésto es debido a la gran higroscopicidad del yeso, que le lleva a absorber la humedad con enorme eficacia. Pero además, este suelo no tiene sólo una capacidad notable para captar agua, sino también para restituirla a la planta, como demuestra el valor del Agua útil, significativamente mayor.

La reserva hídrica es mayor en los suelos tipo Yermosol háplico, mucho más profundos, lo que les permite acumular mayor cantidad de agua. No obstante, en un clima semiárido con precipitaciones anuales en torno a los 250 mm, ésta es una ventaja más hipotética que real, pues pocas veces lloverá lo bastante para completar la reserva hídrica. Por el contrario, la mayor capacidad de captar el agua y suministrarla a la planta (Agua útil) que tienen los suelos ricos en yeso es una importante ventaja para aprovechar eficazmente las nieblas, rocíos y criptoprecipitaciones de la zona, por otro lado bastante abundantes.

4. Al analizar los micronutrientes, se han encontrado diferencias tanto en los contenidos de Zn como de Mn, aunque sus cantidades son tan escasas, que no creemos tengan efecto sobre las especies vegetales en estudio.

5. La salinidad es mayor en los suelos ricos en yeso, aunque siempre dentro de unos límites no muy altos, pues el CaSO_4 no es una sal tan soluble como el ClNa , por ejemplo.

6. La salinidad del CaSO_4 sí es bastante más elevada que la del CaCO_3 , y eso explica las concentraciones tan altas en Ca que encontramos en el yermosol gípsico, tanto en el complejo de cambio como en la solución del suelo. Una correcta capacidad de manejo metabólico de este Ca puede ser una de las claves del éxito de las plantas gipsícolas, a la vez que explicar su característica distribución.

7. El anión SO_4^- es también muy abundante en la solución de los suelos ricos en yeso, y su presencia es importante en el metabolismo de la planta.

8. Las diferencias de pH encontradas no parecen muy significativas.

9. Los porcentajes de N y C orgánico son inferiores en los yermosoles háplicos, aunque la relación C/N permanece invariable.

Tabla 4. Análisis de la varianza y test de Duncan de los parámetros medidos en ambos tipos de suelo (nivel de significación, 0,05).

Suelo	W 15	W 1/3	Fe	Zn	Mn	Cu
N.A.	16,64b	34,86b	3,10a	0,64b	1,80a	0,38a
L.	8,16a	19,55a	2,97a	0,21a	3,94b	0,556a
N.S.	0,0005	0,0007	0,7592	0,0030	0,0151	0,058

Suelo	Na (ES)	K (ES)	Mg (ES)	Ca (ES)	C.E.	pH
N.A.	17,73a	6,83a	9,46a	809,4b	2,48b	7,37a
L.	31,64b	5,17a	6,09a	481,64a	1,49a	7,87a
N.S.	0,0331	0,7701	0,1036	0,0175	0,0192	0,1176

Suelo	SO ₄	K (C)	Na (C)	Mg (C)	Ca (C)	Prof.	AU
N.A.	13,25b	0,31a	0,14a	0,48a	164b	13	2,85b
L.	9,09a	0,24a	0,079a	0,56a	81a	86	1,73a
N.S.	0,0414	0,3954	0,0706	0,6774	0,0195	0,0188	0,0014

Suelo	Arena	Limo	Arcilla	Reserva	CO ₃	Yeso
N.A.	55,93a	10,15a	0,769a	38,14a	5,68a	20,25a
L.	52,52a	28,18b	17,30b	149,33b	23,74b	10,33a
N.S.	0,7032	0,0369	0,0166	0,0244	0,0046	0,0504

Suelo	C.O.	N	C/N
N.A.	1,22b	0,2b	5,8a
L.	0,376a	0,76a	4,7a
N.S.	0,0065	0,0005	0,3620

Suelo N.A.: Yermosol gipsico. Suelo L.: Yermosol háplico. N.S.: Nivel de significación. W 15: Retención de agua a 15 atmósferas. W 1/3: Idem, 1/3 de atmósfera. Fe, Zn, Mn y Cu en ppm. Na (ES), K (ES), Mg (ES) y Ca (ES): Na, K, Mg y Ca medidos en extracto de saturación, en mg/100g. Prof: Profundidad en cm. C.E: Conductividad eléctrica en mmho/cm. SO₄: Sulfatos medidos en extracto de saturación, en mg/100g. K (C), Na (C), Mg (C), Ca (C): K, Na, Mg y Ca en el complejo de cambio, medidos en meq./100g. AU: Agua útil, en mm/cm. Arena, Limo, Arcilla, CO₃ y yeso expresados en %. Reserva: Reserva media de agua en mm. C.O.:Carbono orgánico, N: Porcentaje de nitrógeno, C/N: Relación carbono/nitrógeno.

Tabla 2. Análisis de correlaciones entre algunos de los parámetros medidos.

	Yeso	H 15	H 1/3	K (ES)	Mg (ES)	Ca(ES)
CO ₃ ⁼	-0,5930* 0,0095**	-0,6965 0,0013	-0,5207 0,0267	-0,2312 0,3560	-0,7645 0,002	-0,7425 0,0004
Yesos		0,7978 0,0001	0,7551 0,0003	0,5543 0,0170	0,4426 0,0659	0,3930 0,1067
C.E.					0,7763 0,0002	0,9510 0,0000
SO ₄ ⁼					0,6060 0,0077	0,9024 0,0000
	C.E.	Ph	SO ₄ ⁼	AU	Ca (C)	Na (C)
CO ₃ ⁼	-0,8286 0,000	0,5558 0,0166	-0,7489 0,0003	-0,3546 0,1488	-0,6619 0,0028	0,8377 0,000
Yesos	0,3914 0,1082	-0,1776 0,4804	0,3203 0,1950	0,6748 0,0020	0,2721 0,2747	-0,3400 0,1675
C.E.			0,9357 0,0000			
SO ₄ ⁼		-0,5893 0,0101				

Tamaño de la muestra: 18. *: Coeficiente de correlación. **: Nivel de significación.

W 15: Retención de agua a 15 atmósferas. W 1/3: Idem. 1/3 de atmósfera. Fe, Zn, Mn y Cu en ppm. K (ES), Mg (ES) y Ca (ES): K, Mg y Ca medidos en extracto de saturación. C.E: Conductividad eléctrica. SO₄⁼: Sulfatos medidos en extracto de saturación. Na (C). Ca (C): Na y Ca en el complejo de cambio. AU: Agua útil.

3. ANALISIS DE LAS PLANTAS.

3.1. CALCIO. FORMAS Y FRACCIONES.

En la tabla 5 podemos observar los valores obtenidos en cada especie de Ca total, soluble, ligado a pectatos, fosfatos y oxalatos.

Respecto al Ca total, éste varía desde el valor mínimo obtenido en Helianthemum alypoides, hasta el valor máximo de Gypsophila struthium. Los valores de Ca total no son anormalmente altos, para plantas que viven en un medio tan enriquecido en este elemento, si los comparamos con otras especies cultivadas. A hecho, exceptuando Gypsophila struthium, son menores que los obtenidos por Sánchez (1994) en Capsicum annum, y Valenzuela (1990) en Cucumis melo.

Pero comparando con plantas similares analizadas por otros autores (Duvigneaud, 1966 y 1968), observamos que las concentraciones de calcio total son aproximadamente similares a las obtenidas con Lepidium subulatum, Helianthemum squamatum y Helianthemum lavandulifolium, y superiores a las de muchas especies propias del matorral mediterráneo (p.e. Rosmarinus officinalis, cuyos valores no difieren mucho de los que hemos obtenido en Helianthemum alypodes).

En cuanto al Ca soluble, o Ca inorgánico, nos da una idea sobre el "Ca fisiológicamente activo" (Valenzuela, 1990), pues esta fracción es la que está más implicada en los procesos fisiológicos dependientes de este catión. Helianthemum squamatum y Gypsophila struthium son las especies que en mayor cantidad lo acumulan, y Helianthemum alypoides, con diferencia, la que menos. Las cantidades de Ca soluble encontradas son netamente superiores a las obtenidas por otros autores (Sánchez, 1994; Valenzuela, 1990). Estas especies entrarían, pues, dentro de los fisiotipos que Kinzel (Kinzel, 1983) llama Calciótrofos: Aquellas plantas que acumulan gran cantidad de Ca soluble en agua, en cantidades aproximadamente iguales o mayores que K soluble, y con una cantidad pequeña de oxalatos.

Por otro lado, la forma soluble del Ca está claramente diferenciada en ambos tipos de suelos, de modo que la comunidad instalada sobre el yermosol háplico lo acumula en mayor cantidad (Fig. 3). Seguramente, el Ca soluble juega un papel regulador en estos suelos de extremada aridez.

El Ca disuelto en la célula actúa como agente osmótico en las plantas adaptadas a medios calizos y áridos (Kinzel, 1983). El papel del ión calcio también parece clave en nuestros sustratos. En los suelos con mayor contenido en yesos, donde las condiciones de aridez son menores, la cantidad de Ca soluble es menor al encontrarse como malato u oxalato cálcico. En el suelo llamado yermosol háplico, con menor capacidad de retención de agua, y menos agua útil a disposición de las plantas, presenta unas condiciones de mayor aridez para la vida vegetal, y el ión calcio se encuentra principalmente en su forma soluble, contribuyendo a crear una presión osmótica lo suficientemente elevada para vencer el déficit hídrico. Como se ve en la figura 4, precisamente la fracción de Ca ligada a oxalatos tiene un comportamiento inverso, de forma que es mayor siempre en los suelos ricos en yesos.

Por otro lado, tanto los valores de Ca ligado a fosfatos, como los de Ca ligado a pectatos, son superiores a los obtenidos por otros autores (Sánchez, 1994). El Ca que suele ser parte importante del tejido orgánico es el que constituye los pectatos. Helianthemum alypoides presenta el valor mínimo en esta fracción, y Gypsophila struthium, el máximo, con 4,15 y 6,74 mg/100g respectivamente.

En general, la fracción minoritaria es la de Ca ligado al oxalato, como corresponde a los fisiotipos calciótrofos. A este respecto, distinguimos dos grupos de plantas con un comportamiento claramente

diferenciado: Gypsophila struthium por una lado, y el resto de las plantas por otro. Los valores obtenidos para este segundo grupo son muy bajos, inferiores a los de Sánchez, 1994, o López-cantarero, 1992. Sólo Gypsophila struthium acumula el oxalato-cálcico en cantidades realmente sobresalientes, 25,97 mg/g, contra los 2,90 mg/g de Helianthemum squamatum.

Mommaerts-Billiet (1971), en su estudio de la ecomorfología foliar de algunos gipsófitos de España, describe las hojas de Gypsophila struthium, crasas y pequeñas, conteniendo numerosos cristales de oxalato cálcico con forma de erizos de mar. También comenta que las hojas de Helianthemum squamatum y Helianthemum lavandulifolium carecen de estos cristales de oxalato. Esto explica el gran contenido de Ca encontrado en esta fracción en las hojas de Gypsophila struthium, en oposición al bajo contenido del resto.

Por su parte, Kinzel (1983), cita como una excepción al género Gypsophila dentro de la familia de las cariofiláceas, de metabolismo normalmente calcióforo. De esta manera, Gypsophila struthium es una especie calciótrofa -que acumula gran cantidad de Ca inorgánico o soluble en agua-, pero que tiene a su vez grandes cantidades de Ca como oxalato, de forma que dispone de un excelente mecanismo regulador de la presión osmótica, en respuesta a los cambios del medio, como veremos a continuación.

Cuando comparamos el comportamiento de estas plantas en ambos tipos de suelos (Fig. 4), es particularmente llamativo el caso de Gypsophila struthium, que acumula cantidades muy altas de oxalato cálcico en los suelos gípsicos, de modo que el mecanismo de ajuste osmótico descrito anteriormente se ve especialmente claro (Fig.5).

Para terminar el capítulo, resaltaremos la bondad de la correlación del Ca soluble con el sulfato (coeficiente 0,8845; nivel de significación 0,0000, tamaño de la muestra, 90 datos): la mayor parte del Ca soluble está cambiando con el sulfato, como CaSO_4 .

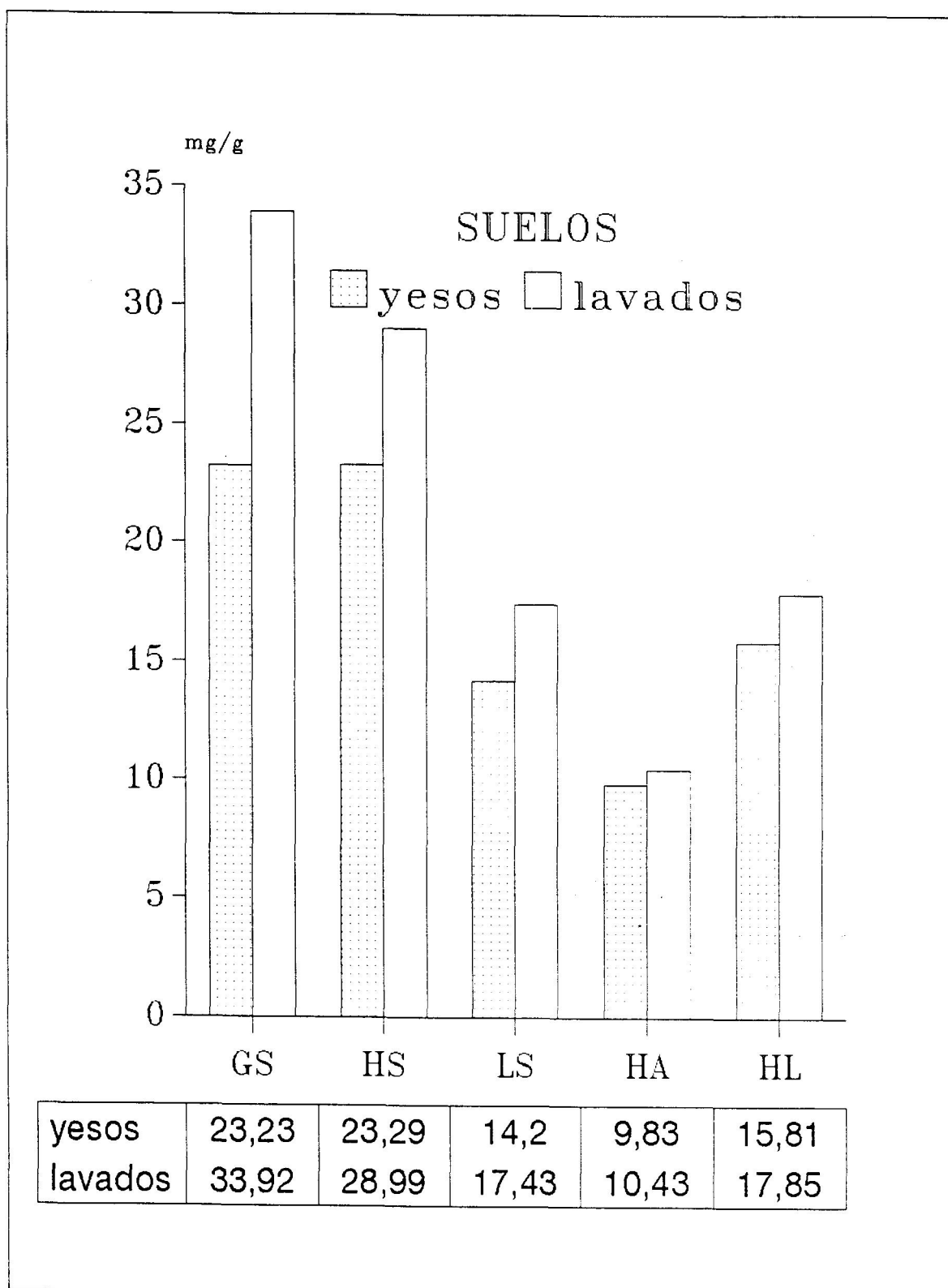


Figura 28: Ca soluble de varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: *H. squamatum* HA: *H. alypoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *H. lavandulifolium*

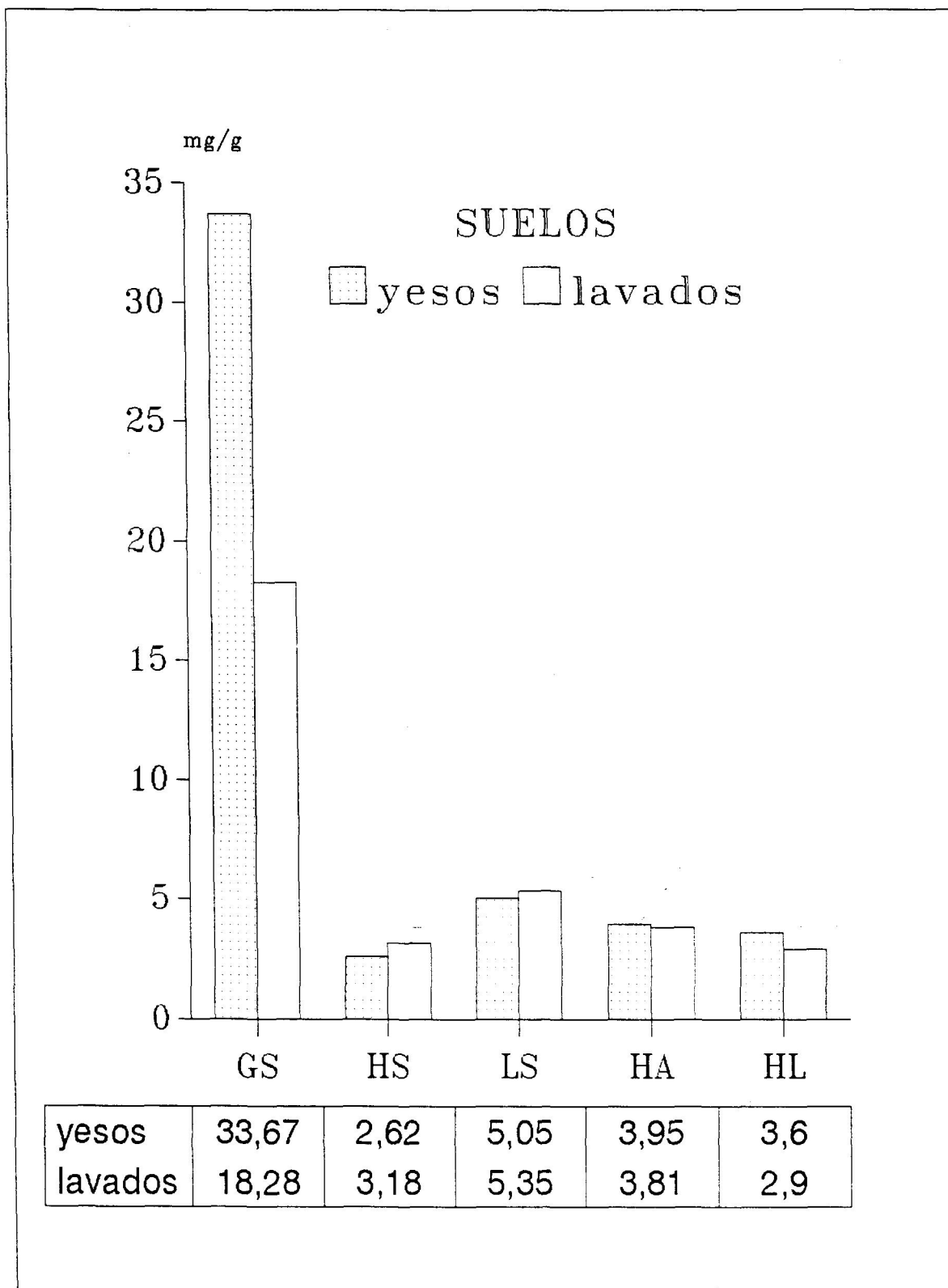


Figura 29: Ca ligado a oxalatos de varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: *H. squamatum* HA: *H. alypoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *H. lavandulifolium*

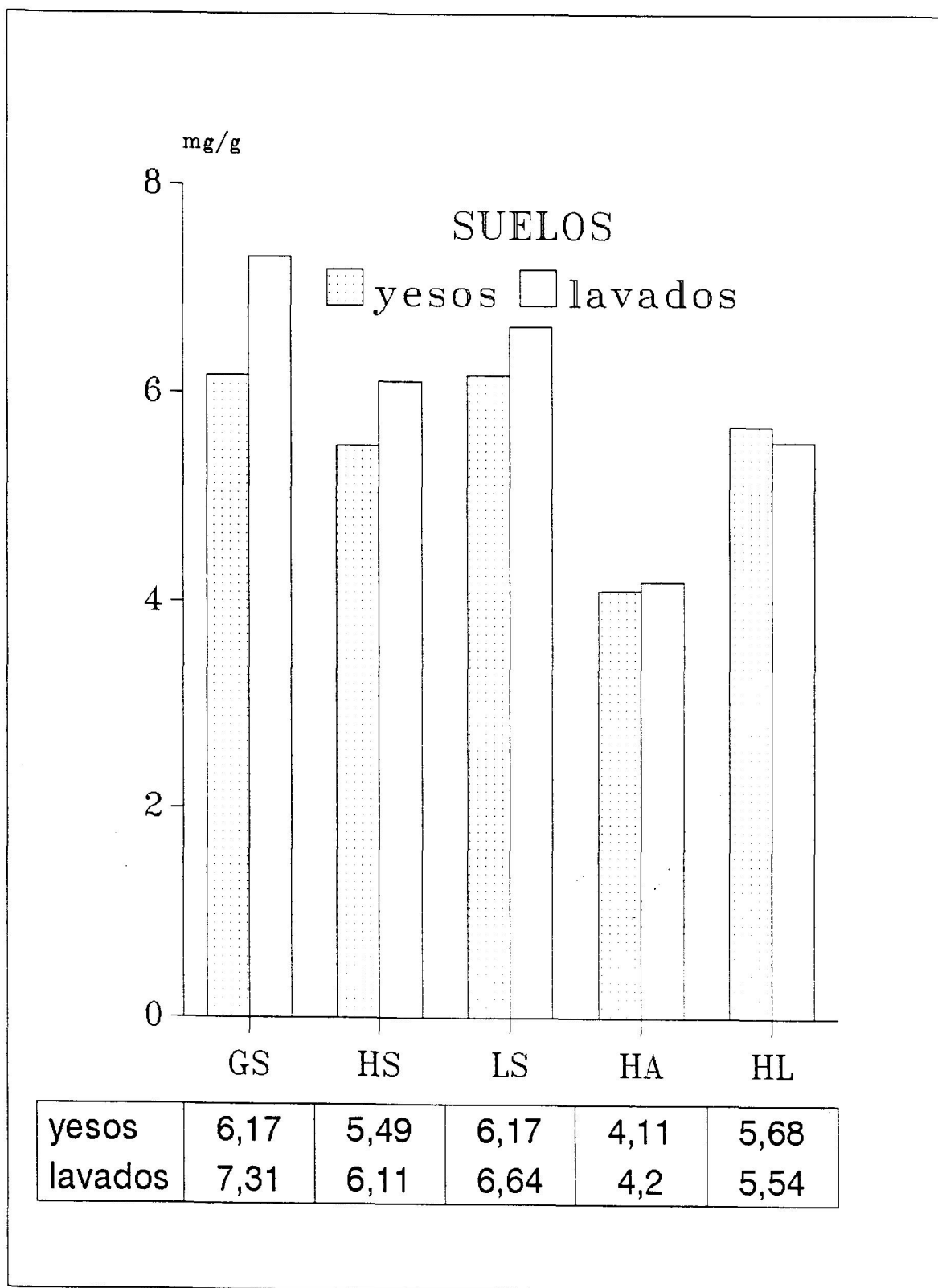


Figura 30: Ca ligado a pectatos de varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: *H. squamatum* HA: *H. alpeoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *H. lavandulifolium*.

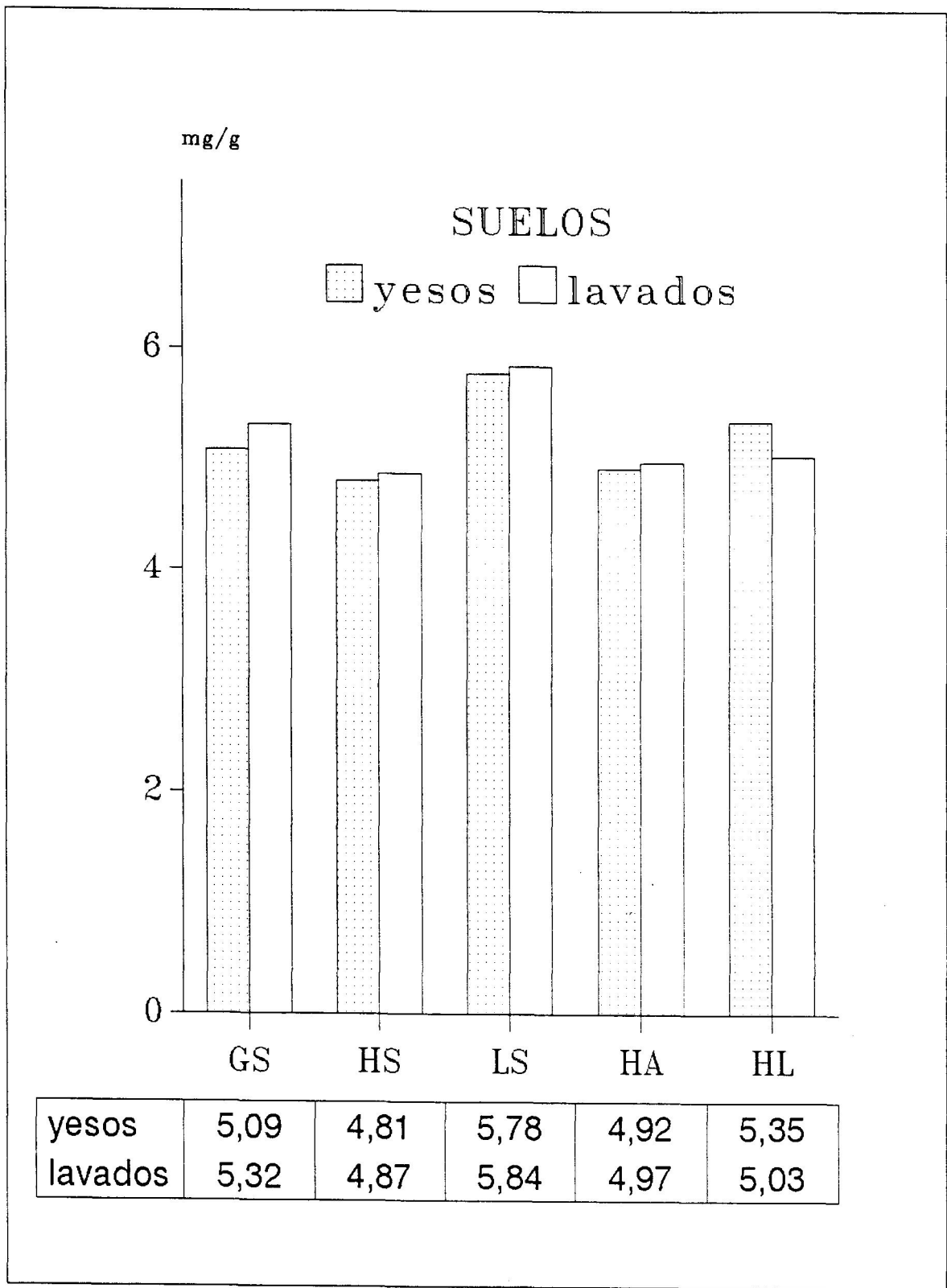


Figura 31: Ca ligado a fosfatos de varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: *H. squamatum* HA: *H. alpeoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *H. lavandulifolium*

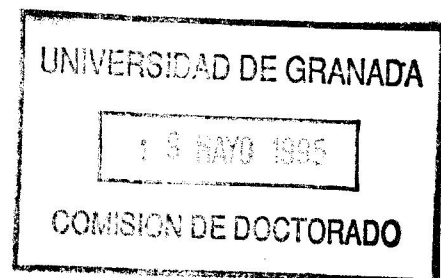


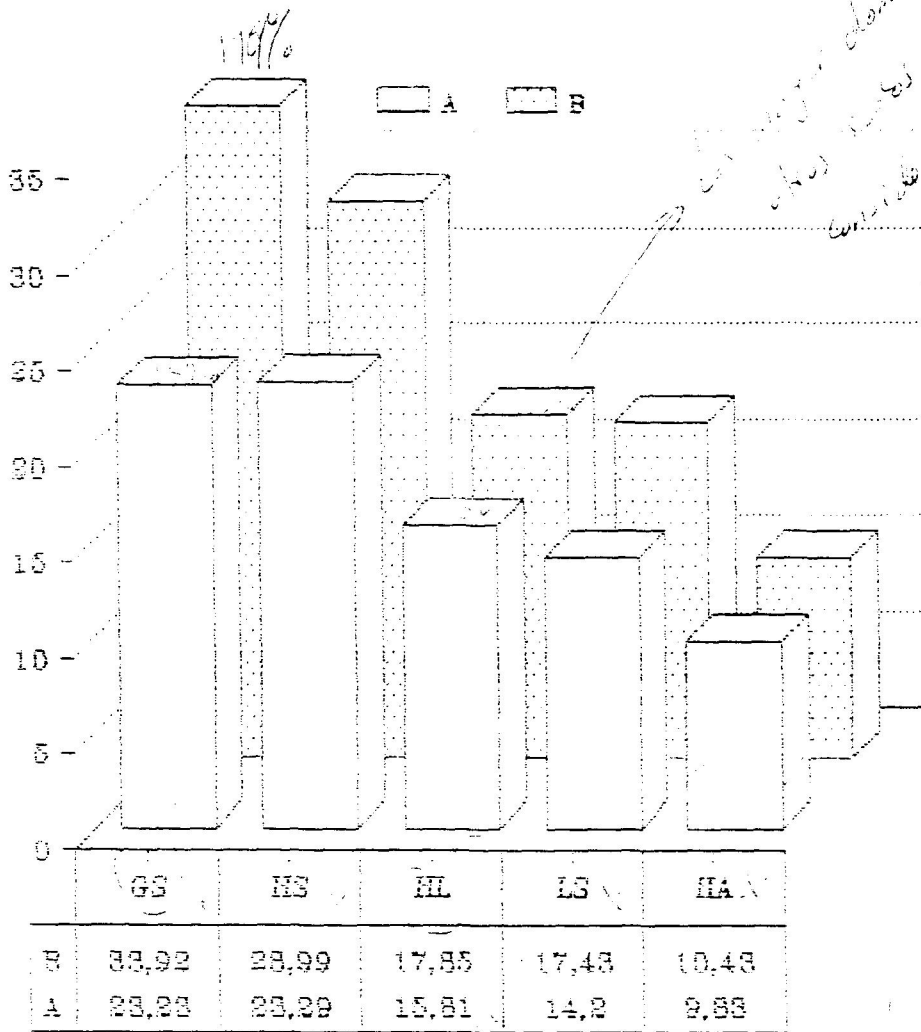
Tabla 5. Valores de Ca total y fracciones en mg/g p.s.

Sp	Ca total	Ca soluble	Ca-pectat	Ca-Fosfat	Ca-oxalat
HA	15,65a	10,13a	4,15a	4,94a	3,88a
LS	23,91b	15,81b	6,41bc	5,81b	5,20a
HS	25,94b	26,14c	5,80bc	4,84a	2,90a
HL	30,39c	16,83b	5,61b	5,19ab	3,25a
GS	40,21d	28,57c	6,74c	5,21ab	25,97b

:Media de separación por columnas según el test de rango múltiple de Duncan, nivel de significación al 5 por cien.

HA: *Helianthemum alypoides*. LS: *Lepidium subulatum*. HS: *Helianthemum squamatum*. HL: *Helianthemum lavandulifolium*. GS: *Gypsophila struthium*.

Calcio soluble.
 Sucesos: A: Yermosol gipico.
 B: Yermosol háptico.



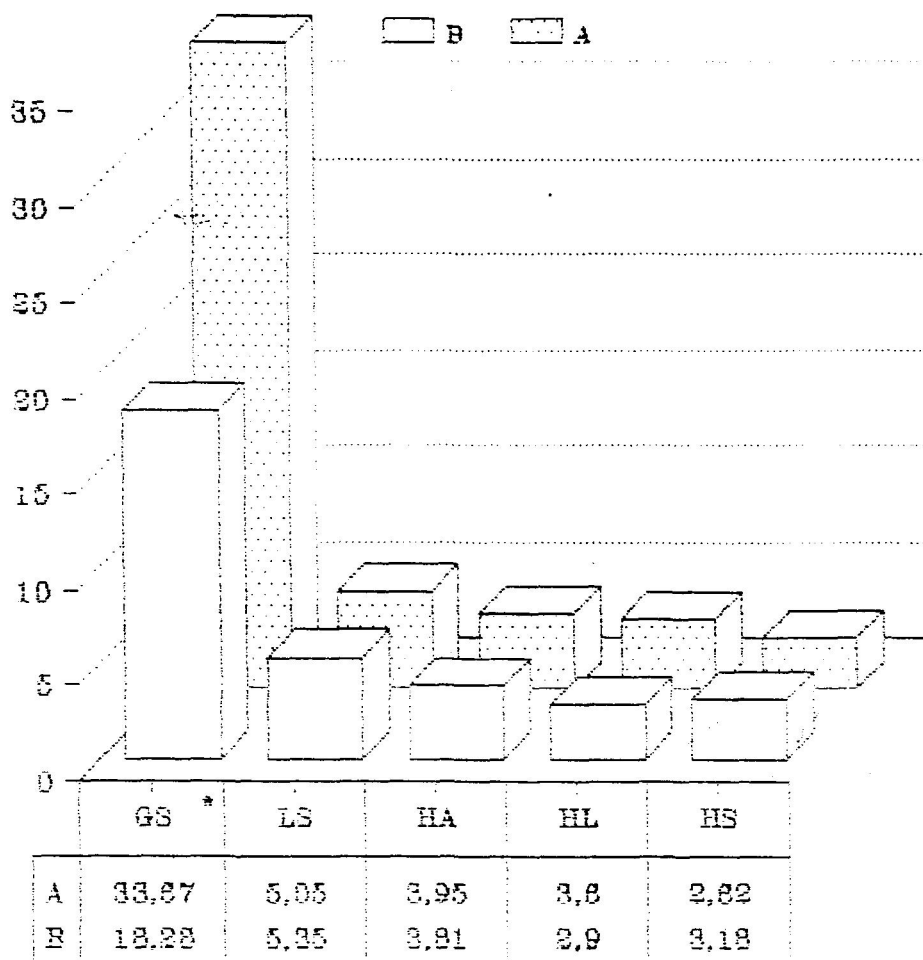
El mayor aumento en ambos sucesos 7 en los sucesos experimentales, 7 por el 6 la consideramos la To

GS: *Geothium* HA: *H. alypoides*
 HL: *H. lavandulifolium* HS: *H. squamatum*
 LS: *Lepidium subulatum*

Fig 3

Calcio ligado a oxalatos.

Suelos. A: Yermosol gipsico.
B: Yermosol háptico.

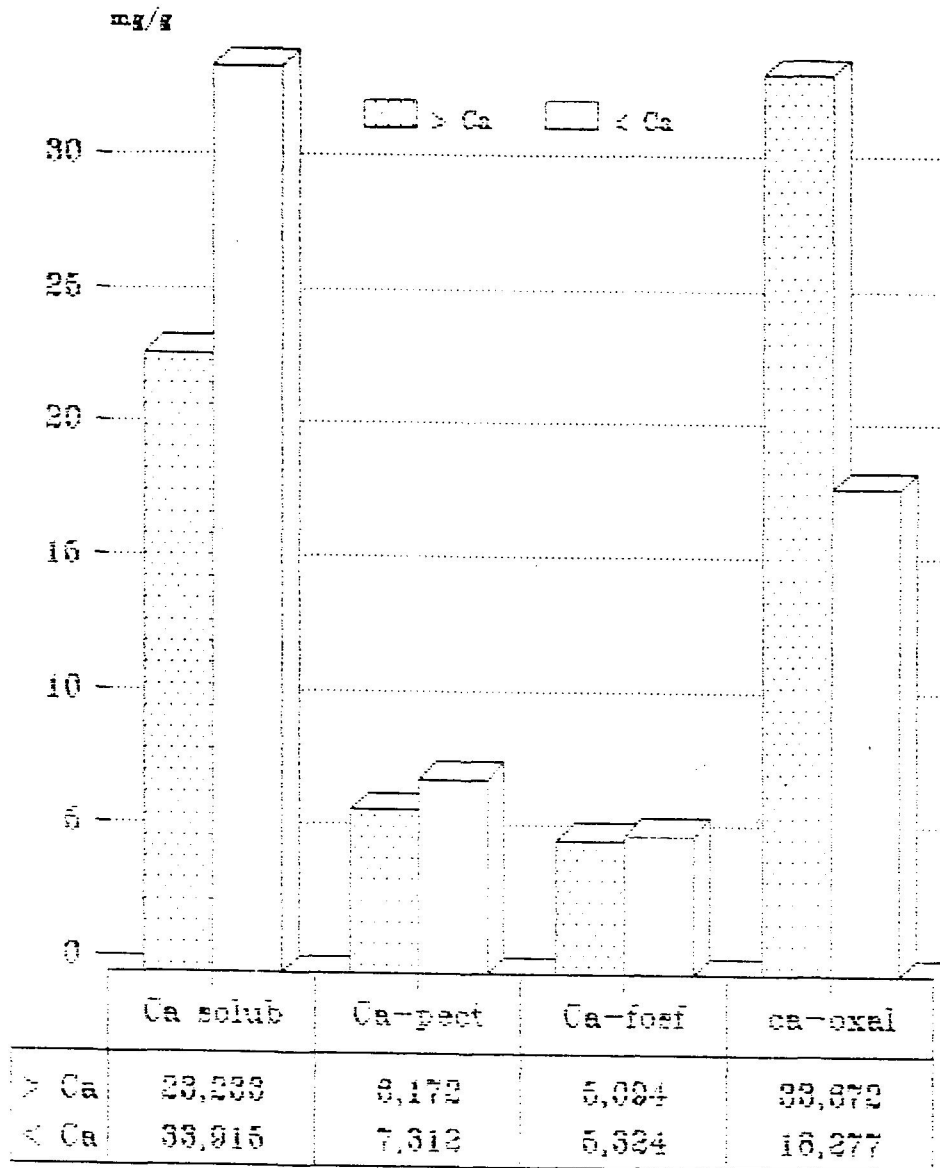


GS: *G. struthium* HA: *H. aiypoides*
HL: *H. lavandulifolium* HS: *H. squamatum*
LS: *Lepidium subulatum*

*: Diferencias estadísticamente significativas según el test de rango múltiple de Duncan, nivel de significación al 5 %

174

Gypsophila struthium
Fracciones de calcio.



1, 5

~~El yermo de...~~

3.2. MAGNESIO. FORMAS Y FRACCIONES.

En la tabla 6 podemos observar los valores de Mg total obtenidos para cada una de las especies estudiadas. Asimismo, aparecen las fracciones correspondientes al Mg soluble en agua, Mg ligado a aniones orgánicos, Mg ligado a aniones ácidos orgánicos, y Mg ligado a pectatos y oxalatos. En la tabla 7 aparecen los valores porcentuales de cada fracción respecto a la suma total de las fracciones, mostrando su grado de participación.

Los valores de Mg total son bastante inferiores a los obtenidos por Duvigneaud (1966, 1968), con plantas similares. Gypsophila struthium es la especie que lo acumula en mayor cantidad, y Helianthemum alypoides, Helianthemum lavandulifolium y Lepidium subulatum las que menos.

Pero si estas especies son frugales en Mg total, no ocurre así con la fracción soluble del Mg, que acumulan en alto grado, siendo la fracción mayoritaria. Sus valores son muy altos en Gypsophila struthium, similares, por ejemplo, a los obtenidos en Capsicum annuum (Sánchez, 1994), y menores en el resto de los casos. El mínimo se da, como en el caso anterior, en Helianthemum alypoides, Helianthemum lavandulifolium y Lepidium subulatum.

La fracción de Mg ligado a aniones orgánicos muestra valores en general bajos. Gypsophila struthium da el máximo y Helianthemum alypoides, Helianthemum lavandulifolium y Lepidium subulatum los mínimos. Curiosamente, en valores porcentuales, esta relación se invierte (tabla 7).

El Mg ligado a los aniones ácidos orgánicos no presenta diferencias significativas, en valores absolutos, entre las distintas especies, y sus valores son similares a los obtenidos en otras experiencias (Sánchez, 1994). Si nos referimos a su porcentaje de participación sobre la suma de todas las fracciones, el porcentaje de Mg ligado es menor en Gypsophila struthium y Helianthemum squamatum que en el resto de las especies estudiadas.

El Mg ligado a pectatos y oxalatos tampoco se acumula de forma distinta en ninguna de las especies consideradas. Si nos fijamos en los valores porcentuales ocurre, de nuevo, que su porcentaje es menor en las dos especies citadas anteriormente. Sus valores son más altos en los yermosoles gípsicos que en los hápticos (fig. 6).

Resumiendo, Helianthemum squamatum y Gypsophila struthium son las que acumulan el Mg soluble en mayor grado, y Helianthemum alypoides y Helianthemum lavandulifolium en menor. por el contrario, en el resto de las fracciones el comportamiento es inverso, siendo Helianthemum squamatum y Gypsophila struthium las más frugales. Lepidium subulatum suele mostrar un comportamiento intermedio.

Posiblemente, el Mg juega un papel de ajuste osmótico similar al del Ca. El coeficiente de correlación del Mg soluble con el $SO_4^{=}$ es muy alto (0,7852, nivel de significación 0,0000), lo que hace pensar que, en su mayor parte, se encuentra como $MgSO_4^{=}$. En la figura 7, vemos que esta fracción presenta un porcentaje respecto al total considerablemente más elevado en los yermosoles hápticos, contribuyendo a crear potenciales osmóticos altos para adaptarse a unas condiciones de aridez mayores que en los suelos gípsicos, donde el Mg se combinará con otros contraiones.

En cuanto al Mg ligado a aniones ácidos orgánicos, su comportamiento fue errático, sin mostrar ninguna tendencia clara en ambos tipos de suelo.

Tabla 6. Valores de Mg total y fracciones en mg/g p.s.

Sp	Mg total	Mg soluble	Mg-An.Org.	Mg-An.Ac.Org.	Mg-pectatos
HA	0,78a*	0,61a	0,61a	0,38a	0,36a
HL	0,85a	0,60a	0,57a	0,40a	0,37a
LS	1,01a	0,73a	0,59a	0,35a	0,24a
HS	2,30b	1,67b	0,83b	0,40a	0,32a
GS	3,89c	2,67c	1,15c	0,37a	0,36a

*Media de separación por columnas según el test de rango múltiple de Duncan, nivel de significación al 5 por cien.

HA: *Helianthemum alypoides*. LS: *Lepidium subulatum*. HS: *Helianthemum squamatum*. HL: *Helianthemum lavandulifolium*. GS: *Gypsophila struthium*.

Mg-An.Org: Mg ligado a aniones orgánicos. Mg-An.Ac.Org: Mg ligado a aniones ácidos orgánicos. Mg-pectatos: Mg ligado a pectatos y oxalatos.

Tabla 7. Valores porcentuales de las fracciones de Mg.

Sp	Mg soluble	Mg-An.Org.	Mg-An.Ac.Org.	Mg-pectatos
HA	31,44a*	31,02c	19,03c	18,51d
HL	32,23a	29,83bc	21,12c	16,82cd
LS	37,25a	31,40c	18,31c	13,04bc
HS	51,58b	25,77ab	12,52b	10,13ab
GS	58,70c	25,27a	8,41a	7,61a

*Media de separación por columnas según el test de rango múltiple de Duncan, nivel de significación al 5 por cien.

HA: *Helianthemum alypoides*. LS: *Lepidium subulatum*. HS: *Helianthemum squamatum*. HL: *Helianthemum lavandulifolium*. GS: *Gypsophila struthium*.

Mg-An.Org: Mg ligado a aniones orgánicos. Mg-An.Ac.Org: Mg ligado a aniones ácidos orgánicos. Mg-pectatos: Mg ligado a pectatos y oxalatos.

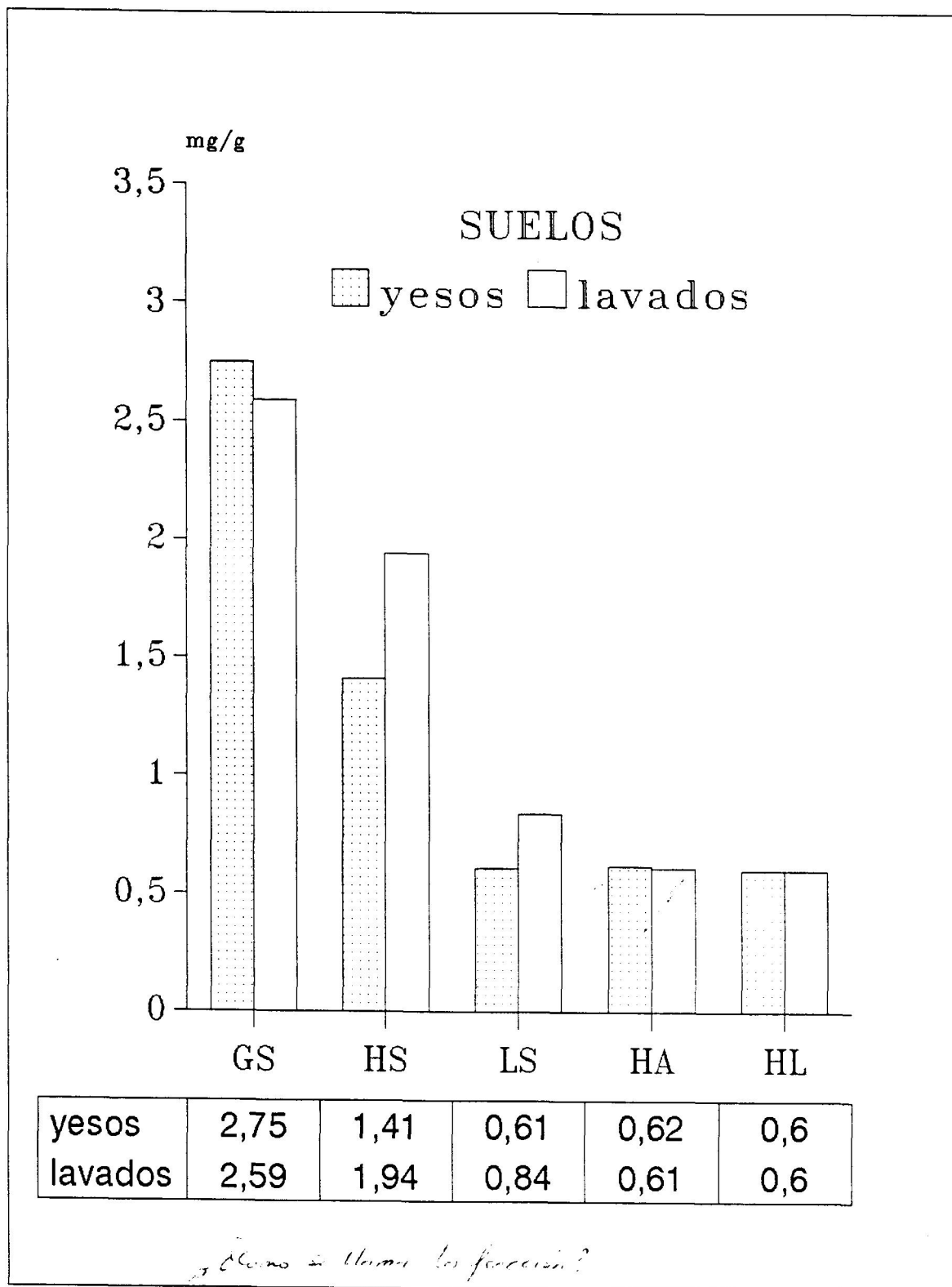


Figura 34: Mg soluble en varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: H. squamatum HA: H. alypoides GS: G. struthium LS: L. subulatum HL: H. lavandulifolium

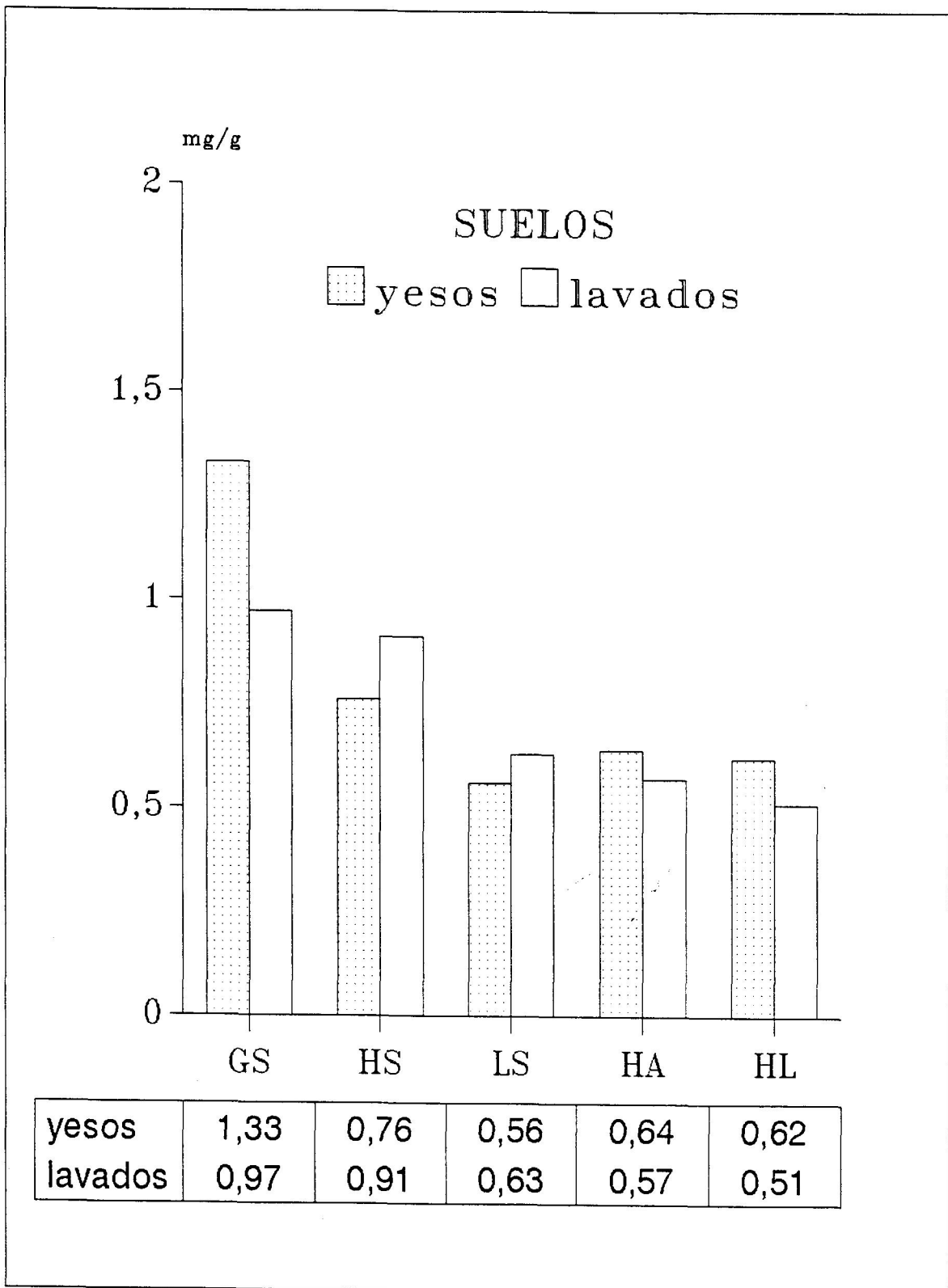


Figura 35: Mg ligado a Ac. orgánicos de varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos
 HS: *H. squamatum* HA: *H. alypoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *H. lavandulifolium*

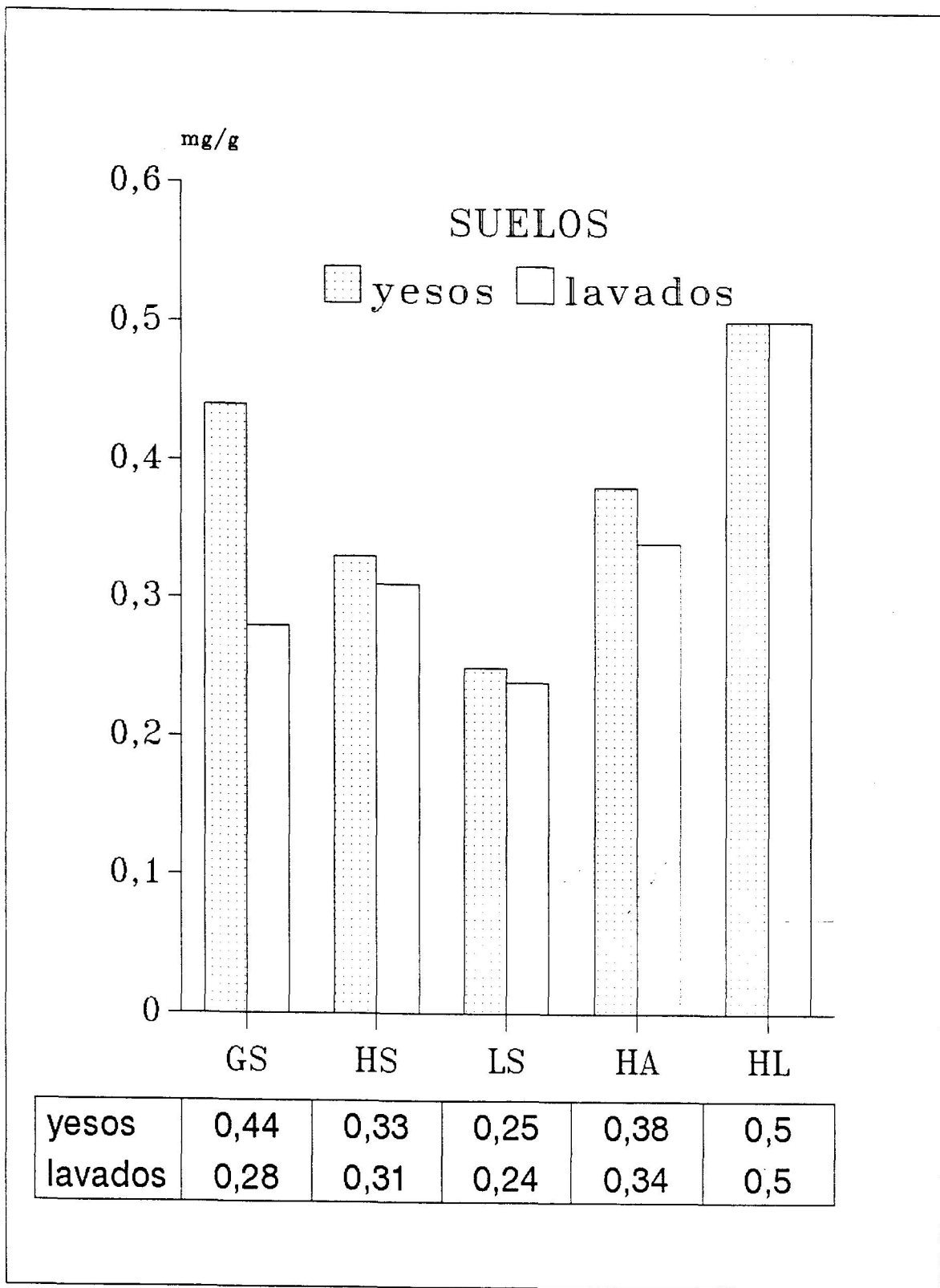


Figura 36: Mg ligado a pectatos y oxalatos en varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos

ES: *E. squematum* EA: *E. atypoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* EL: *E. lavandulifolium*

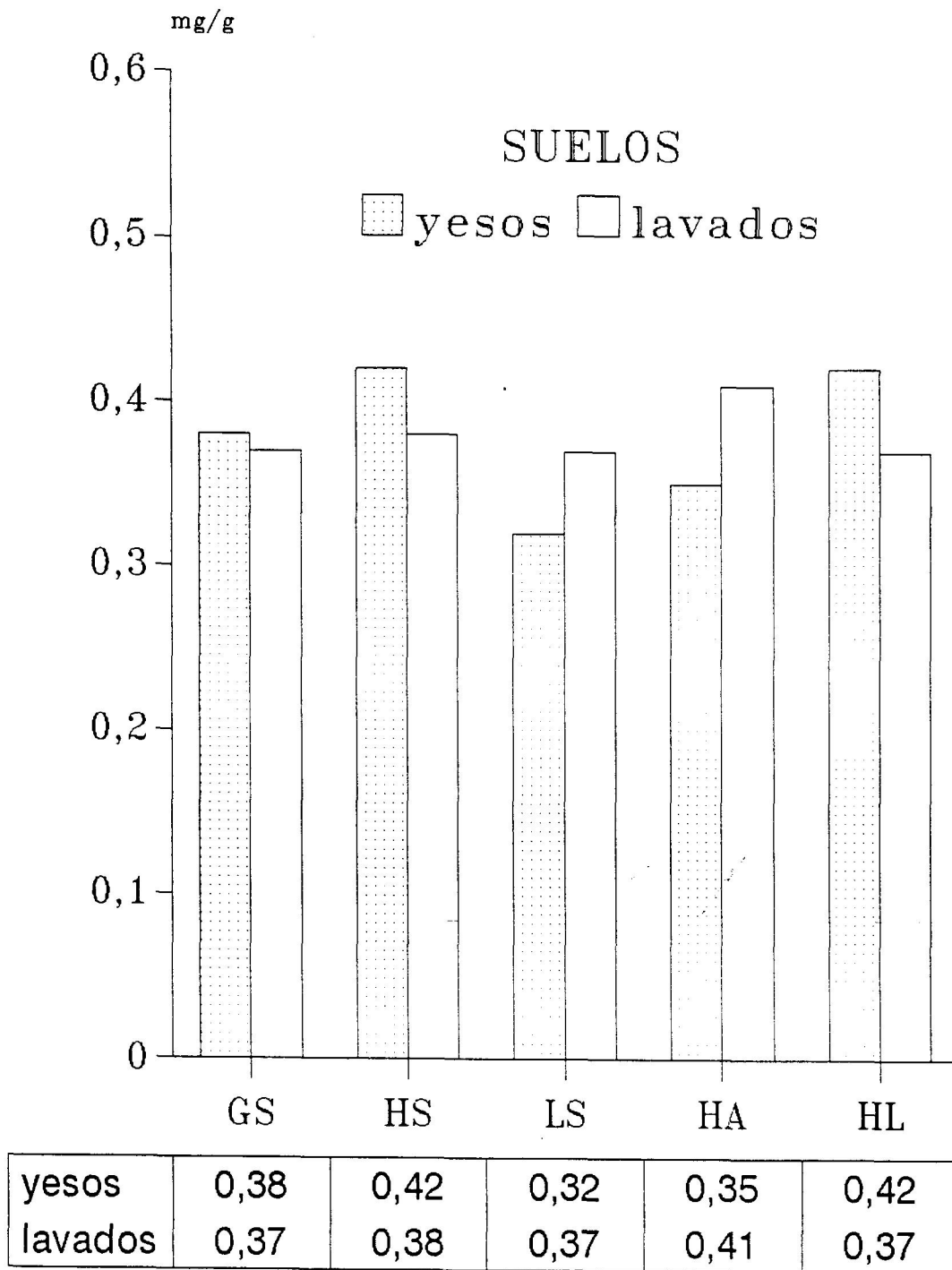


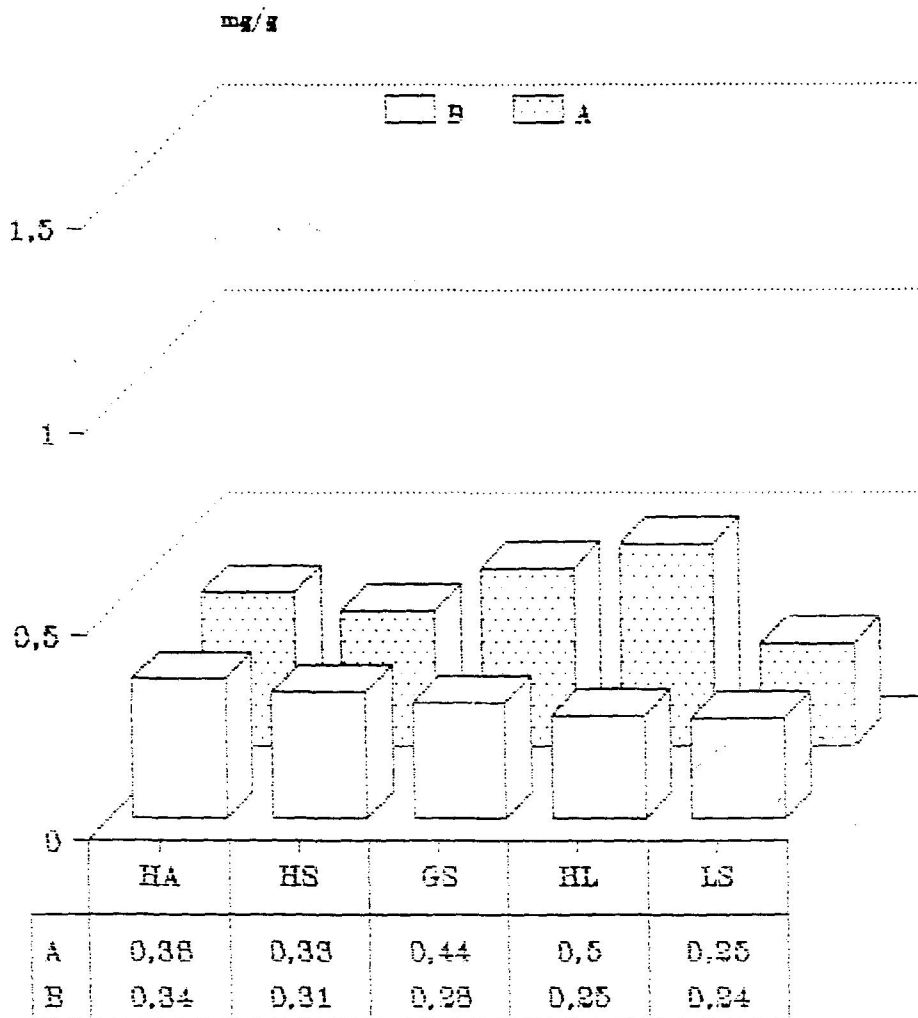
Figura F: Mg ligado a Aniones Acidos Organicos en varias especies gipsícolas en 2 suelos distintos.

HS: *E. squamatum* HA: *E. atypoides* GS: *G. struthium* LS: *L. subulatum* HL: *E. levanthalifolium*

Mg ligado a pectatos y oxalatos.

Suelos: A: Yermosol gipsico.

B: Yermosol háplico.

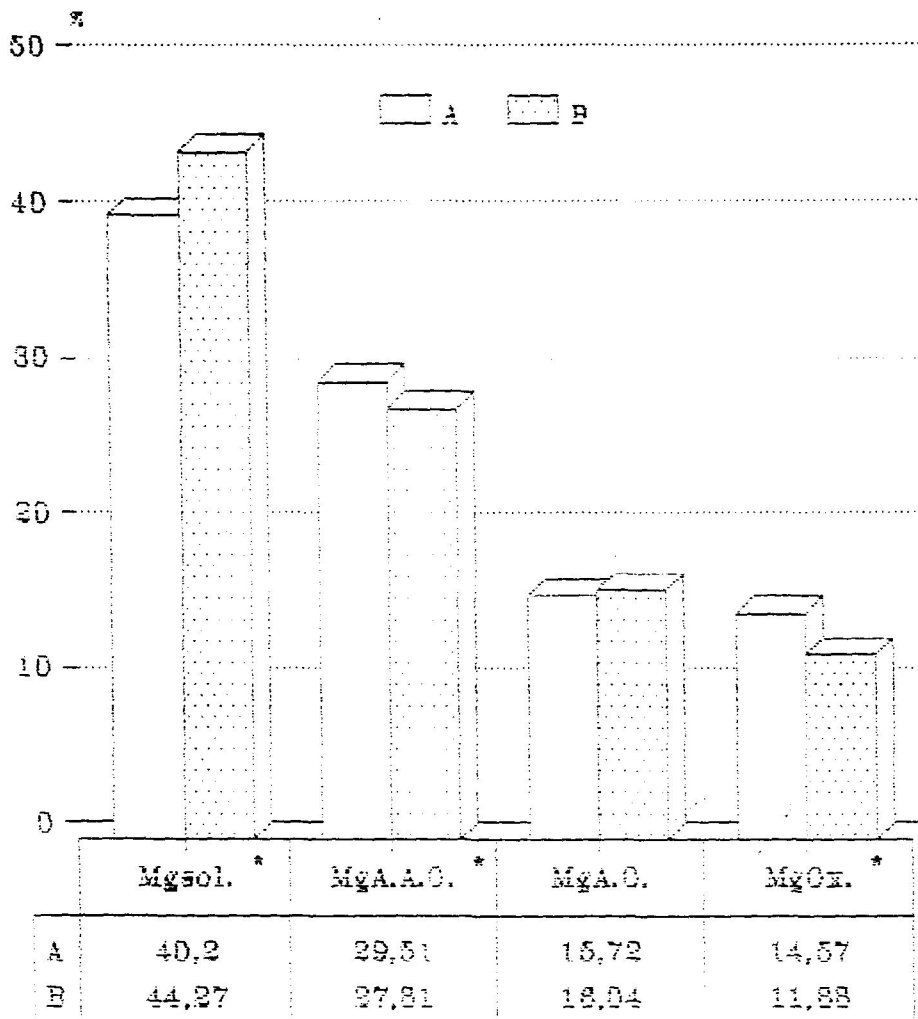


GS: *G. struthium* HA: *H. aiypoides*
 HL: *H. lavandulifolium* HS: *H. squamatum*
 LS: *Lepidium subulatum*

Ko 6

Porcentaje de Fracciones de Mg.

Suelos: A: Yermosol gipsico.
B: Yermosol háplico.



Sol: Soluble. A.O: Aniones orgánicos.
A.A.O: Aniones Ácidos Orgánicos.
Ox: Oxalatos.

*: Test de rango múltiple de Duncan.

Diferencias significativas al 5 %

Fig 7

