

NOTAS SOBRE EL PAPEL DEL POTASIO EN LA EROSION EDAFICA DE LOS PASTIZALES DE MONTAÑA: FUNDAMENTOS PARA UNA HIPOTESIS

M. MENGHI

CERNAR, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional, 5000 Córdoba (Argentina)

F. D. PINEDA

Dpto. Interuniversitario de Ecología, Universidad Complutense
28040 Madrid (España)

RESUMEN

La erosión natural de los suelos de pastizales de montaña se ha descrito frecuentemente en términos de gradientes geomorfológicos de erosión descendente o remontante a lo largo de las laderas. Sin embargo, en algunas localidades coexisten, en cualquier zona geomorfológica, pequeños sectores de suelos denudados junto a otros bien conservados, originando una fisionomía a manera de entramado espacial. Esto ha obligado a algunos autores a explicar los factores que subyacen en otras formas de erosión, como las que dan lugar a mosaicos de rexistasia-biostasia, lóbulos de solifluxión, pequeñas gradas, etc.

Anomalías geomorfológicas como, por ejemplo, las relacionadas con fracturas y movimientos verticales de pequeños bloques rocosos, con la fusión de la nieve o con la actividad animal, han ayudado a describir la coexistencia de aquellos diferentes sectores. En el presente artículo se considera que la variación del potasio en el suelo puede ayudar a explicar los mosaicos de conservación-erosión que son frecuentes en sustratos silíceos y que la vegetación herbácea denuncia con claridad

PALABRAS CLAVE: Biostasia

Erosión de suelos
Geomorfología
Gradientes de ladera
Pastos de montaña
Potasio en el suelo
Rexistasia

El notable poder indicador de las plantas herbáceas, muy estrechamente ligadas a pequeñas variaciones del ambiente, resulta de gran interés en la síntesis de procesos que marcan la variación espacio-temporal de ciertos ecosistemas. Así, la erosión incipiente de la superficie del terreno es fácilmente denunciada por la distribución horizontal de este tipo de plantas —particularmente si se trata de especies de terófitos, cuya instalación en el sustrato y crecimiento constituye una estrategia de prueba y error ensayada cada año—. Al contrario que las plantas leñosas, de una dependencia ambiental menos fina que ellas, las herbáceas reflejan con gran detalle la estructura espacial de un ecosistema y su cambio temporal (García-Novo *et al.*, 1969; Pineda *et al.*, 1981a, b; De Pablo *et al.*, 1982; Sterling *et al.*, 1983; Hobbs, Atkins, 1988, 1991; Montalvo *et al.*, 1991a, b).

Recibido: 25-3-92

Aceptado para su publicación: 23-2-93

No obstante, a veces resulta difícil detectar los factores ambientales directos que subyacen en esos procesos que las plantas tienden a reflejar. Esto tiene una importancia evidente desde el punto de vista de la conservación de determinados recursos naturales y el seguimiento de sus cambios debidos a influencias humanas o a perturbaciones naturales.

Gradientes y discontinuidades

Tanto en territorios de topografía accidentada como en los de relieve relativamente plano, la existencia de gradientes, como los altitudinales, geomorfológicos o edáficos, facilita la interpretación de los sistemas ecológicos. Esto es posible tanto a escalas geográficas como a otras de mayor detalle. Por ejemplo, en el primer caso, se tiene la distribución altitudinal de plantas y animales o la impuesta por el ciclo hidrológico regional, relacionado con la escorrentía superficial o la descarga de aguas subterráneas (Whittaker, 1967; Solntsev, 1974; Bernaldez, Pineda, 1980b; Austin, 1987; Bernaldez *et al.*, 1980a, 1988; Palmer *et al.*, 1990; Montalvo *et al.*, 1991a, b). En el segundo caso son patentes algunos fenómenos observables en laderas de apenas un centenar de metros de longitud (García-Novo, 1968; García-Novo *et al.*, 1969; Montserrat, 1975; Bernaldez *et al.*, 1976; Minchin, 1987; Pineda, Peco, 1988; Montalvo, 1992).

La vegetación constituye en los casos anteriores una importante referencia para la tipificación del espacio y su interpretación funcional. En efecto, la forma de distribución de aquella puede denunciar con relativa facilidad ciertos factores abióticos de acción predominante. Así, la variación continua de las comunidades biológicas en el terreno facilita la identificación de factores como el frío altitudinal, la insolación, la humedad edáfica, la fertilidad o la variación de la intensidad de la herbivoría (Whittaker, 1967; García-Novo *et al.*, 1969; Montserrat, 1975; Bernaldez, Pineda, 1980b; Casado *et al.*, 1985; Montalvo, 1992). En otros casos existen componentes de variación discreta muy diversos (Beckett, Webster, 1971; De Pablo *et al.*, 1982; Burrough, 1983; Gómez-Sal *et al.*, 1991; Bernaldez *et al.*, 1976, 1980a, b). En este sentido, algunos autores han observado que, en determinados pastos de montaña y su pedimento, aparecen con frecuencia zonas donde coexisten suelos bien conservados junto a otros erosionados en espacios relativamente pequeños, constituyendo mosaicos de madurez-simplicidad ecológica o discontinuidades de difícil síntesis en términos de factores ambientales. Algunas de las teselas de estos mosaicos están caracterizadas por una vegetación muy rala, mostrando diferentes grados de erosión, mientras que otras contienen un pastizal denso y una aparente mayor acumulación de necromasa y humus en el suelo. Son respectivamente situaciones de «reexistasia» o ruptura del equilibrio bio-geo-edáfico, y de «biostasia» o permanencia de este equilibrio (Erhart, 1956; Bernaldez, Pineda, 1980b). La edafogénesis en las primeras se aprecia escasa, con predominio aparente de exportación de materiales, especialmente partículas finas, débil infiltración de agua y baja disipación de la energía hídrica de las gotas de lluvia y la escorrentía. Lo contrario ocurre en las teselas en biostasia.

Factores subyacentes a la variación espacial: primeros resultados

Unos estudios previos, realizados en pastizales sobre granitos y neises de regiones climáticas muy diferentes –Cordillera Central y Sierra Morena espa-

ñas, Sierras Chicas de Córdoba (Argentina)– permiten mostrar la facilidad de detección de los factores ambientales predominantes cuando éstos se expresan mediante gradientes, y la dificultad de explicarlos cuando la estructura del pastizal se muestra en forma de discontinuidades. La tipificación ecológica en estos casos no tiene sólo interés teórico o científico puro, sino también práctico, relacionado con la gestión ganadera y el problema de la pérdida de recursos por erosión.

Se refiere a continuación el análisis de unos datos preliminares que sirvieron para interpretar los factores subyacentes a la aparición de estos mosaicos y una hipótesis que la obtención y tratamiento de nuevos datos ayuda a elaborar.

Mediante un muestreo diferencial, realizado en pastizales de laderas españolas y argentinas de unos trescientos metros de longitud, situadas en altitudes de 1.000 msnm, se consideraron los sectores geomorfológicos altos y bajos de esas laderas. En unos y otros sectores se delimitaron pequeñas parcelas, tanto en localidades en biostasia como en rexistasia, y en ellas se registraron datos de vegetación y suelos. Análisis numéricos multivariantes de ordenación permitieron tipificar la variación de estos pastos (Levassor *et al.*, 1981; Menghi *et al.*, 1989) (Tabla 1).

Se encuentran diferencias entre las regiones estudiadas respecto al comportamiento de la vegetación al denunciar ésta las discontinuidades de los mosaicos de erosión-conservación:

- a) Bernaldez, Pineda, (1980); Levassor *et al.*, (1981); Sastre *et al.*, (1982) han descrito la mosaicidad erosión-conservación en la Cordillera Central española señalando el papel que puede desempeñar, como factor predominante, la topografía derivada de los hundimientos y levantamientos de pequeños bloques rocosos, así como otros efectos locales diferenciadores, como los incendios de pastizales no consumidos y la presión desigual de los herbívoros. Estos fenómenos condicionan una mosaicidad o celularidad superpuesta a los gradientes de ladera, pero no llegan a anular la variación principal del pasto, que aparece condicionada esencialmente por los gradientes geomorfológicos (denudación-acumulación, variación del pH, abundancia de bases en el suelo y humedad edáfica). Aquellos fenómenos vienen pues a constituir sólo un problema de escala de apreciación, es decir, procesos que crean discontinuidades locales dentro de las tendencias globales de organización del ecosistema que están marcadas principalmente por los gradientes de ladera. De esta forma han descrito varios autores situaciones similares (Bernaldez *et al.*, 1980a, b; Ruiz, 1980; De Pablo *et al.*, 1982; Pineda, Peco, 1988; Puerto *et al.*, 1990). En estas montañas la vegetación puede denunciar claras diferencias tanto entre sectores geomorfológicos de ladera como entre localidades en biostasia y en rexistasia (Fig. 1).
- b) Menghi *et al.*, (1989) han observado en cambio que, en las Sierras Chicas argentinas, fenómenos en principio considerados como semejantes a los anteriores dan lugar a discontinuidades en mosaico que anulan totalmente la estructura del pasto a lo largo de los gradientes de la ladera. En el caso argentino las diferencias de composición florística del pasto se encuentran sólo entre las situaciones en biostasia y en rexistasia, quedando anulada la influencia de la posición geomorfológica como determinante de la variación del pasto (Fig. 2).

TABLA 1

MOSAICOS DE BIOSTASIA-REXISTASIA RELATIVAS ENCONTRADOS EN PASTIZALES DE MONTAÑA (GRANITOS Y NEISES) DE DIFERENTES REGIONES DE ESPAÑA (SIERRA DE GUADARRAMA, MADRID) Y DE ARGENTINA (SIERRAS CHICAS, CORDOBA) Y ESPECIES DE PLANTAS INDICADORAS

Mosaics of relative biostasis-rhexistasis in mountain pastures (granite and gneiss) in different regions of Spain (Sierra de Guadarrama, Madrid) and Argentina (Sierras Chicas, Córdoba) and indicator plant species

Características	Tesis	
	Biostasia	Rexistasia
Endofogénesis	Estabilidad y control biológico del sustrato. Biomasa vegetal aparente. No se transparenta el sustrato ni aparecen claros en el pastizal. Más intensa. Formación de horizontes, movilización de bases. Mayores contenidos en humus. En ocasiones acumulación de partículas procedentes de zonas de mayor rexistasia.	Inestabilidad y escaso control biológico del sustrato. Biomasa vegetal escasa y cubierta rala, con claros donde se aprecia el sustrato. Escasa. Predomina la exportación de partículas.
Ciclo del agua	El tapiz vegetal absorbe impactos de la lluvia y disipa la energía del agua de arroyada. Frenado de ésta y mejor infiltración. Buen balance hídrico.	Escasa disipación de energía hídrica. Mayor arroyada y escasa infiltración. Peor balance hídrico. Predominio de dispersión de agua y partículas.
Estructura de la vegetación	Gramíneas grandes, edificadoras o formadoras de césped. Fases constructivas y expansivas de los «patterns» biológicos de especies rizomatosas y estoloníferas.	Ausencia de plantas edificadoras. Mayor proporción de terófitos. Fases cenescentes de plantas formadoras de «patterns» en ocasiones.
Topografía	Obstáculos a la arroyada debidos a formas cóncavas, diques de piedras, masa vegetal, tallos elásticos.	Menor impedancia a la arroyada. Anastomosamiento de pequeños surcos.
Especies Indicadoras	S. Guadarrama (Madrid) <i>Agrostis castellana</i>, <i>Hieracium pilosella</i>, <i>Stipa lagascae</i>, <i>Avena barba</i>, <i>Andryala integrifolia</i>, <i>Arrhenatherum album</i>, <i>Festuca costei</i>, <i>F. nigrescens</i>, <i>Trifolium phleoides</i>, <i>T. striatum</i>, <i>T. strictum</i>, <i>T. campestre</i>, <i>Veronica arvensis</i>, <i>Urtica marginata</i>, <i>Dactylis glomerata</i>, <i>Carolina corymbosa</i>, <i>Galium parisiense</i> S. Chicas (Córdoba) <i>Piptochaetium medium</i>, <i>Cuphea glutinosa</i>, <i>Eryngium nudicaule</i>, <i>Stipa amethystina</i>, <i>Bouteloua megapotamica</i>, <i>Paspalum notatum</i>, <i>Dichondra repens</i>, <i>Chevreulia sarmentosa</i>, <i>Festuca hieronymi</i>, <i>Cynodon hirsutus</i>, <i>Stipa tenuissima</i>.	S. Chicas (Córdoba) <i>Glandularia dissecta</i>, <i>Dichondra sericea</i>, <i>Borreria verticillata</i>, <i>Bulbostylis juncoides</i>, <i>Aristida spegazzini</i>, <i>Margyricarpus pinnatus</i>, <i>Schizachyrium inberbe</i>, <i>S. microstachyum</i>, <i>Adesmia hispida</i>. S. Guadarrama (Madrid) <i>Arabidopsis thaliana</i>, <i>Erophila verna</i>, <i>Evax carpetana</i>, <i>Paronychia argentea</i>, <i>Corynephorus canescens</i>, <i>Logfia minima</i>, <i>Vegetaria rigida</i>, <i>Arenaria leptoclados</i>, <i>Vulpia ciliata</i>, <i>Amoseris minima</i>, <i>Silene portensis</i>, <i>Veronica verna</i>, <i>Trifolium cherleri</i>, <i>T. angustifolium</i>, <i>T. scabrum</i>.

Levassor *et al.*, 1981; Menghi *et al.*, 1989

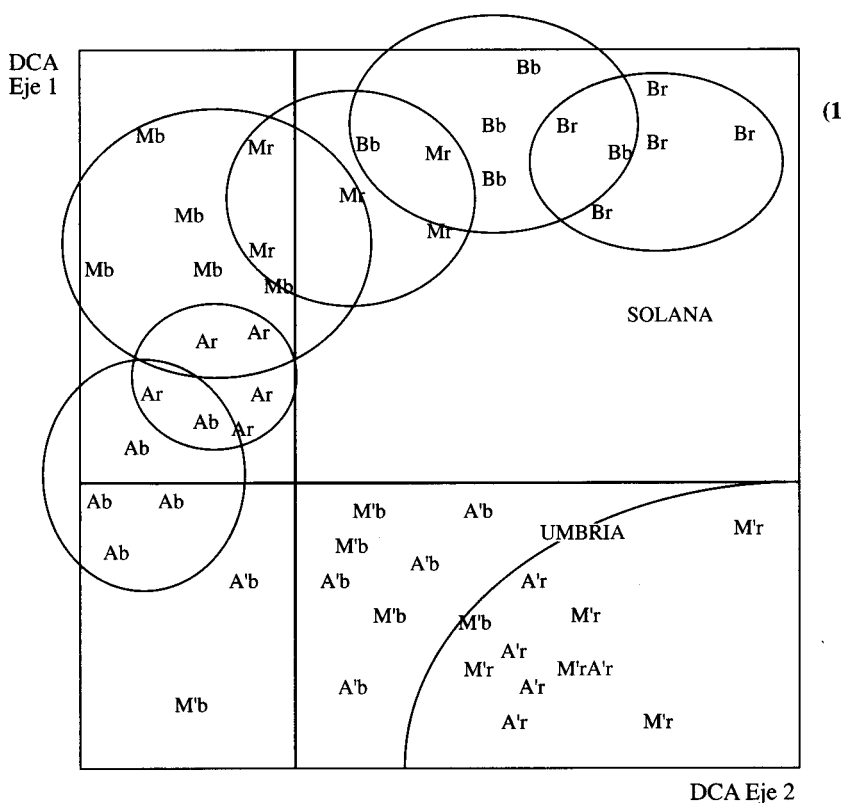


Fig. 1.1.—Ordenación automática (DCA; Hill, 1979) de un conjunto de parcelas de muestreo con datos de presencia-ausencia de 160 especies de plantas. Las parcelas fueron colocadas en los sectores alto (A), intermedio (M) y bajo (B) de una ladera de la Sierra de Guadarrama (Madrid, centro de España) y se situaron en igual número en sectores de suelos en rexistasia (r) y en biostasia (b). Datos de Levassor *et al.*, (1981). Para mayor facilidad se representan en gráficas separadas: 1) la proyección de las parcelas y 2) de las especies de plantas de mayor peso en el análisis

La variación de la vegetación denuncia tanto los diferentes sectores geomorfológicos como el estado de conservación de los suelos dentro de éstos. En la umbria (parcelas con '), donde sólo se consideraron los sectores alto y medio de la ladera (el bajo no contenía pastizales), la vegetación refleja peor la influencia geomorfológica y se corresponde bastante bien con el estado de conservación de los suelos (r y b), en cualquiera de los dos sectores

*Automatic ordination (DCA; Hill, 1979) of a set of sampling plots with presence-absence data of 160 plant species. The plots were located in the upper (A) intermediate (M) and low (B) parts of a slope in the Sierra de Guadarrama (central Spain), and in equal numbers on rexistasic (r) and biostasic (b) soils. Data from Levassor *et al.*, (1981). Projection of plots (A) and plant species with greatest weight in analysis (B) are shown in separate diagrams*

Variation in vegetation clearly shows both different geomorphological sectors and the state of conservation of their soils. In shaded plots ('), where only upper and middle slope zones are considered (there were no pastures in the low zone), the geomorphological influence is not reflected as well by the vegetation, and corresponds well with the state of conservation of the soils (r and b), in any of the two sectors

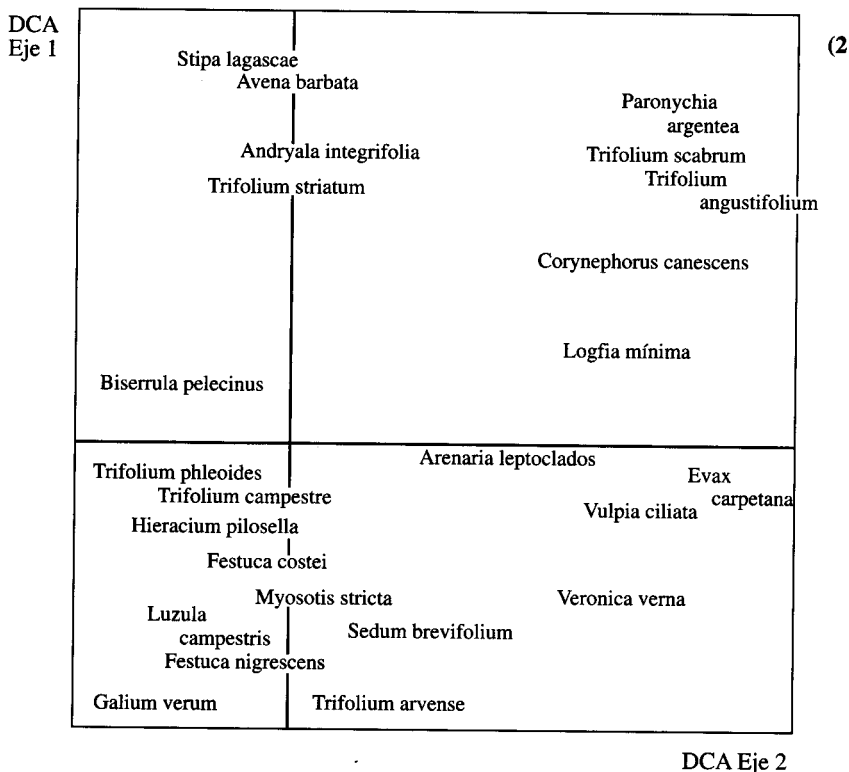


Fig. 1.2.—Ordenación automática (DCA; Hill, 1979) de un conjunto de parcelas de muestreo con datos de presencia-ausencia de 160 especies de plantas. Las parcelas fueron colocadas en los sectores alto (A), intermedio (M) y bajo (B) de una ladera de la Sierra de Guadarrama (Madrid, centro de España) y se situaron en igual número en sectores de suelos en rexistasia (r) y en biostasia (b). Datos de Levassor *et al.*, (1981). Para mayor facilidad se representan en gráficas separadas: 1) la proyección de las parcelas y 2) de las especies de plantas de mayor peso en el análisis

La variación de la vegetación denuncia tanto los diferentes sectores geomorfológicos como el estado de conservación de los suelos dentro de éstos. En la umbría (parcelas con '), donde sólo se consideraron los sectores alto y medio de la ladera (el bajo no contenía pastizales), la vegetación refleja peor la influencia geomorfológica y se corresponde bastante bien con el estado de conservación de los suelos (r y b), en cualquiera de los dos sectores

*Automatic ordination (DCA; Hill, 1979) of a set of sampling plots with presence-absence data of 160 plant species. The plots were located in the upper (A) intermediate (M) and low (B) parts of a slope in the Sierra de Guadarrama (central Spain), and in equal numbers on rexistasic (r) and biostasic (b) soils. Data from Levassor *et al.*, (1981). Projection of plots (A) and plant species with greatest weight in analysis (B) are shown in separate diagrams*

Variation in vegetation clearly shows both different geomorphological sectors and the state of conservation of their soils. In shaded plots ('), where only upper and middle slope zones are considered (there were no pastures in the low zone), the geomorphological influence is not reflected as well by the vegetation, and corresponds well with the state of conservation of the soils (r and b), in any of the two sectors

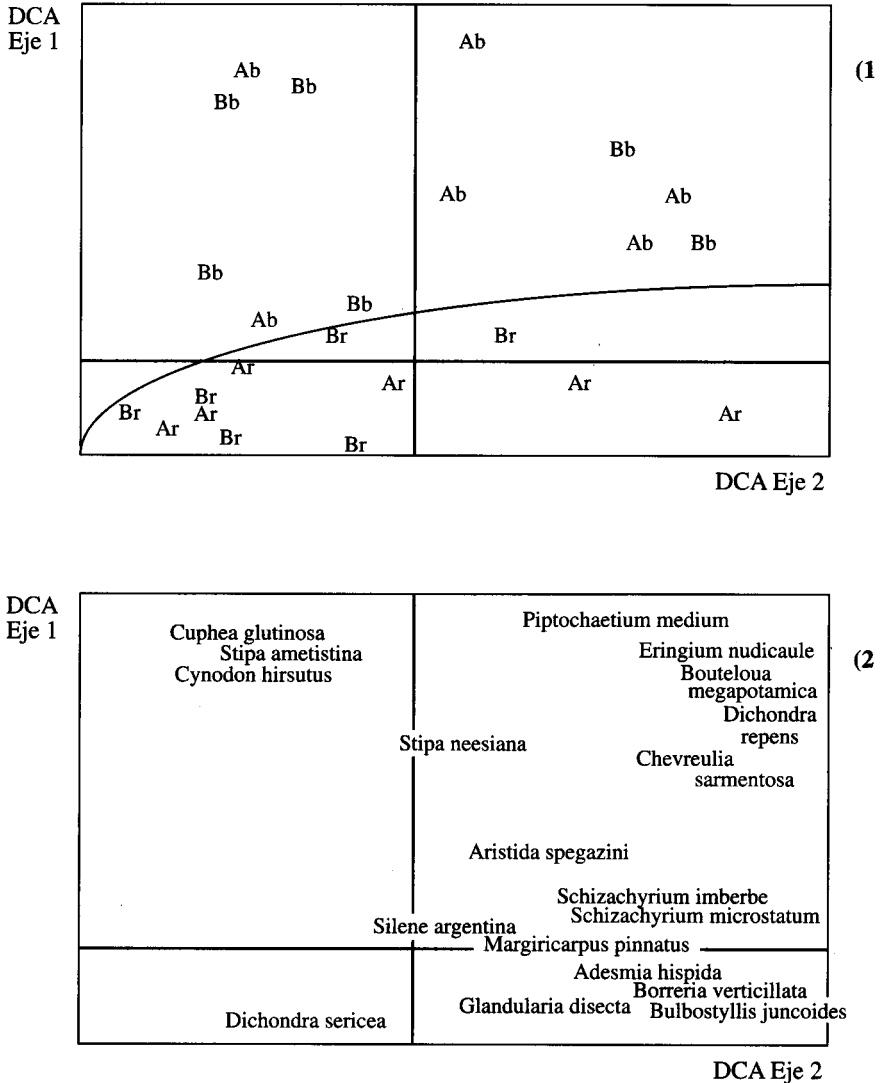


Fig. 2.—El mismo análisis de la Figura 1 realizado en una ladera de las Sierras Chicas (Córdoba, Argentina). Datos de Menghi *et al.*, (1989). En la Figura 2 las especies de plantas de mayor peso en el análisis

Es patente la diferencia que hace la vegetación que constituye este pasto entre suelos conservados (b) y erosionados (r) y su falta de correspondencia con los sectores geomorfológicos alto (A) y bajo (B) de la ladera

Same analysis as in Figure 1 on a slope in Sierras Chicas (Córdoba, Argentina).

Data from Menghi *et al.*, (1989). Figure 2 shows plant species with most weight in analysis. The vegetation of this pasture makes a clear distinction between conserved (b) and eroded (r) soils, and its lack of correspondence with high (A) and low (B) geomorphological sectors of the slope

Una hipótesis sobre la erosión

Al contemplar la variación edáfica –físico-química– el estudio de las Sierras Chicas había tenido en cuenta algunas variables del suelo que, años antes, no habían sido consideradas como trascendentes en el estudio de la Sierra de Guadarrama (Figs. 3, 4/1,2). Tal es el caso de los contenidos totales en magnesio, calcio y potasio del suelo de los distintos sectores. Al analizar esa variación, el magnesio se mostró como variable discriminante de los sectores altos y bajos de las laderas argentinas, pero de escaso peso, el calcio no permitía distinguir ninguno de los tipos de situaciones consideradas y el potasio, en cambio, diferenció bien las teselas de biostasia (donde era más abundante) de las de rexistasia. Su variación es equivalente a la mostrada por la composición florística (Figs. 2, 3). Ambas tendencias de variación no permitieron diferenciar unos sectores geomorfológicos de otros en las Sierras Chicas.

Conociéndose estos resultados se han tomado nuevas muestras de campo en los mismos sitios al principio estudiados en las laderas españolas, incluyéndose ahora aquellas tres nuevas variables edáficas en los análisis de ordenación. También en este caso el potasio permitió diferenciar bien los suelos conservados de los erosionados (Fig. 4/3,4). Otras variables, como el carbono, el calcio o el aluminio libre se mostraron también asociadas a los suelos conservados, pero como variables de menor peso que aquél. Un test *t*, realizado para diferenciar los valores del potasio en las localidades en biostasia y en rexistasia muestreadas tanto en los suelos argentinos como españoles permitió encontrar diferencia significativa en ambos casos ($t = 3,51$; $p < 0,01$ en los suelos de las Sierras Chicas y $t = 2,81$; $p < 0,008$ en los de la Cordillera Central). Ninguna de las restantes variables edáficas de importancia en el análisis mostró diferencias significativas.

En el caso español, donde se disponía de muestras suficientes para diferenciar el comportamiento de ambos tipos de suelos tanto en las zonas altas de ladera como en las bajas, se encontró que, en las primeras eran muy patentes las diferencias entre los suelos erosionados y conservados ($t = 3,37$; $p < 0,01$) mientras que en las segundas, aunque significativas, esas diferencias eran menores ($t = 2,30$; $p < 0,05$). Probablemente en las zonas altas el predominio de los fenómenos de exportación de agua y materiales acentúa la falta de potasio en las localidades erosionadas en comparación con las conservadas. En las zonas bajas, la sedimentación geomorfológica atenúa esas diferencias. También en el caso español, la posibilidad de diferenciar las muestras tomadas en solana y en umbría permitió encontrar un comportamiento ligeramente diferente del potasio en uno y otro caso: $t = 2,11$; $p < 0,05$, indica la diferencia entre el contenido en potasio de los tipos de suelos en solana y $t = 1,91$; $p < 0,08$ (no significativo), la que se apreciaba en la umbría.

El potasio puede proceder de la alteración de silicatos complejos, como feldespato, $\text{Si}_3\text{O}_8\text{KAl}$, y micacita, $(\text{SiO}_4)_2\text{H}_2\text{KAl}_3$, abundantes en los territorios silíceos estudiados. Al desintegrarse estos minerales pueden liberar potasio soluble, adsorbible en la materia orgánica y partículas del suelo e incorporable a las plantas. Su relativa rareza en las zonas en rexistasia podría originarse por excesiva explotación animal del pasto, que impediría su reincorporación como necromasa al sustrato de estas teselas, en particular porque la topografía de estas localidades es ligeramente convexa y predispuesta a la exportación por escorrentía. La dificultad del crecimiento vegetal con escasez de potasio, la fragilidad de los tallos –ante la acción del viento y el propio trasiego del ganado– diferenciarían estas teselas de otras relativamente más ricas en potasio. Fácilmente soluble, este elemento puede

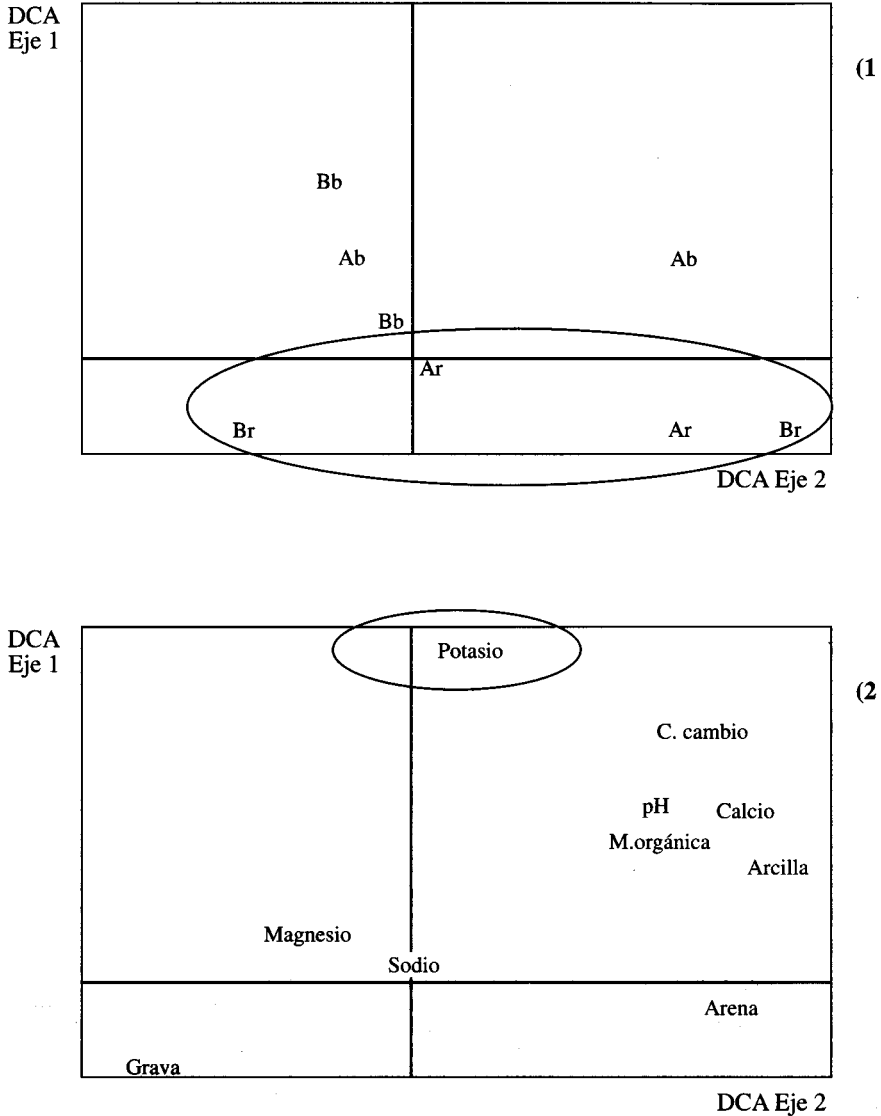


Fig. 3.—DCA de un conjunto de muestras superficiales de suelos —hasta 25 cm de profundidad— tomadas en la ladera argentina. Las muestras corresponden a los sectores geomorfológicos alto (A) y bajo (B). La separación entre los suelos conservados (b) y erosionados (r) es clara, pero no entre sectores geomorfológicos. En la Figura 2 las variables edáficas de mayor peso en el análisis

DCA of a set of shallow soil samples (up to 25 cm deep), taken on the Argentinean slope.

Samples are from the high (A) and low (B) geomorphological sectors. There is a clear distinction between conserved (b) and eroded (r) soils, but not between geomorphological sectors.

Diagram 2 shows soil variables with most weight in analysis

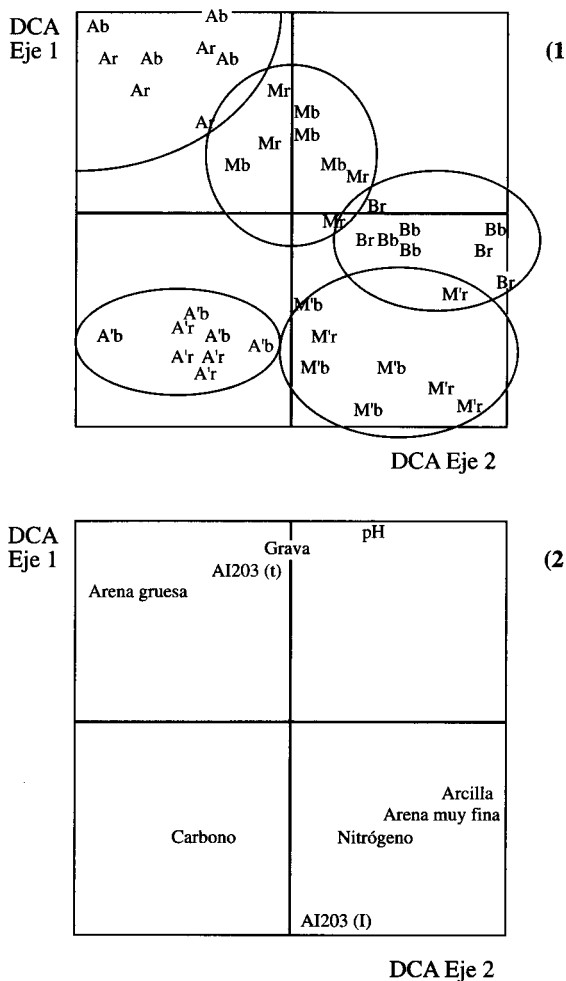


Fig. 4.—El mismo análisis y tipo de muestreo que el que recoge la Figura 3, realizado para la Sierra de Guadarrama

1 y 2: análisis de los datos de Sastre *et al.* (1982). En el conjunto de variables edáficas no se habían contemplado los contenidos en calcio, magnesio y potasio totales del suelo

3 y 4: análisis de los datos obtenidos en los mismos sitios pero incluyéndose ahora en el conjunto de variables a las tres anteriores

El potasio es la variable que más contribuye a diferenciar las localidades en biostasia —hacia la izquierda de la figura— y en rexistasia —hacia la derecha— en cualquier sector geomorfológico. Esta diferencia no era patente en el primer análisis (Figs. 1 y 2). Las variables correspondientes a contenidos totales y libres se indican con t y l respectivamente; las parcelas situadas en la umbra se indican con (')

Same analysis and sample type as in Figure 3, in Sierra de Guadarrama (Spain)

1 and 2: analysis of data in Sastre et al. (1982). Calcium, magnesium and potassium content not contemplated in the set of soil variables

3 and 4: analysis of data from same site, but including the 3 minerals in the set of analysed variables
Potassium contributes most to distinguish biostasic (left of figure) and rexistasic (right) sites in any geomorphological sector. This difference was not clear in the first analysis (diagrams 1 and 2).

Variables for total (t) and free (l) contents, and shaded plots (') are also indicated

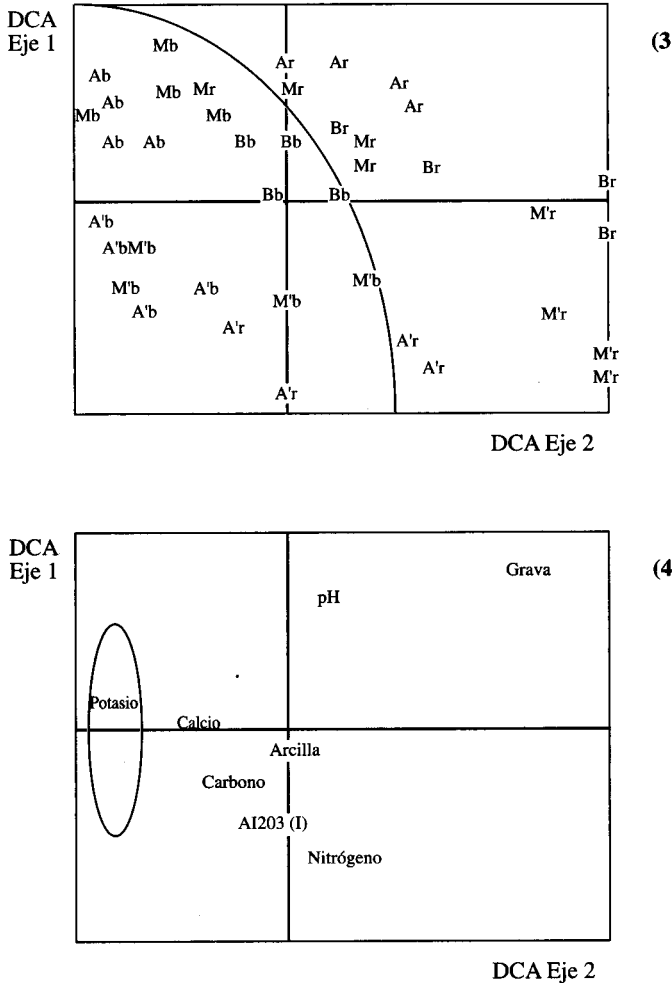


Fig. 4.—El mismo análisis y tipo de muestreo que el que recoge la Figura 3, realizado para la Sierra de Guadarrama

1 y 2: análisis de los datos de Sastre *et al.* (1982). En el conjunto de variables edáficas no se habían contemplado los contenidos en calcio, magnesio y potasio totales del suelo

3 y 4: análisis de los datos obtenidos en los mismos sitios pero incluyéndose ahora en el conjunto de variables a las tres anteriores

El potasio es la variable que más contribuye a diferenciar las localidades en biotasia —hacia la izquierda de la figura— y en rextasia —hacia la derecha— en cualquier sector geomorfológico. Esta diferencia no era patente en el primer análisis (Figs. 1 y 2). Las variables correspondientes a contenidos totales y libres se indican con t y l respectivamente; las parcelas situadas en la umbra se indican con (')

Same analysis and sample type as in Figure 3, in Sierra de Guadarrama (Spain)

*1 and 2: analysis of data in Sastre *et al.* (1982). Calcium, magnesium and potassium content not contemplated in the set of soil variables*

3 and 4: analysis of data from same site, but including the 3 minerals in the set of analysed variables

Potassium contributes most to distinguish biotastic (left of figure) and rextastic (right) sites in any geomorphological sector. This difference was not clear in the first analysis (diagrams 1 and 2).

Variables for total (t) and free (l) contents, and shaded plots (') are also indicated

ser transportado por escorrentía y acumularse en las concavidades más propias de las zonas biotásticas, haciéndose progresivamente escaso en las otras. En umbrías, posiblemente la mayor alteración biológica y físico-química del suelo podría atenuar las diferencias en cuanto a la presencia de potasio en los suelos erosionados y conservados. Un fenómeno parecido habían apreciado ya con el aluminio Sastre *et al.* (1982) en esta Sierra.

La erosión de estos suelos, tanto en las laderas argentinas como españolas, constituye un fenómeno muy evidente. Puede aparecer en cierta medida favorecido por la incidencia de incendios, sobrepastoreo y la propia querencia del ganado (De Miguel, 1988; Gómez-Sal *et al.*, 1992; Puerto *et al.*, 1990). La escasez de potasio en los suelos erosionados puede dificultar la recuperación vegetal a base de especies rizomatosas y encespedantes, capaces de detener la erosión, bastantes de ellas gramíneas necesitadas de potasio para el desarrollo de sus tallos, de manera que la falta de este nutriente puede hacer que esta mosaicidad se mantenga con el tiempo.

Los resultados comentados sirven para componer una hipótesis de trabajo sobre la erosión en estos suelos –aparentemente progresiva y fácilmente observable– y la probable importancia del ciclo del potasio en el fenómeno. Una comprobación experimental definitiva requiere un diseño factorial del muestreo, diferenciándose: contenido en potasio $\times$ grados de erosión $\times$ sectores de ladera $\times$ tipos de comunidades vegetales. El diseño experimental debe comprender asimismo gradientes altitudinales, para observar la variación en diferentes mesoclimas, e incorporar diferentes grados de fertilización experimental con potasio a una parte de las parcelas tomadas en las parcelas rexiásticas. La experiencia puede representar un ensayo de corrección seminatural de la erosión en situaciones como las estudiadas.

La importancia de los terófitos, por las razones aludidas al principio, es determinante en la denuncia de estos procesos. Con la altitud, no obstante –a efectos del diseño experimental comentado–, la abundancia de estas plantas tiende a decrecer, aumentando la presencia de perennes (Montalvo *et al.*, 1991a). Estas plantas son probablemente peores indicadores ecológicos en las zonas de mayor altitud que los terófitos en las zonas altitudinales más bajas.

SUMMARY

Notes on the role of potassium in soil erosion in mountain pastures: Basis for a hypothesis

Soil erosion in mountain pastures has often been described in terms of rising or falling geomorphological gradients of erosion along slope. In some locations, however, small sectors of eroded soil coexist in any geomorphological zone alongside intact sectors. This has inspired some authors to explain the underlying factors in other forms of erosion, including those which are manifested in mosaics of rhexistasis-biostasis, lobules of solifluction, small tiers, etc.

Geomorphological anomalies such as those related to cracks and vertical movements in small rocky blocks, melting snow or animal activity, have helped to describe the coexistence of these sectors. This paper considers that the variation of potassium in soil can permit an explanation of the frequent intact-eroded soil mosaics in siliceous substrata highlighted by herbaceous vegetation.

KEY WORDS: Biostasis
Geomorphology
Mountain pastures
Potassium in soil
Rhexistasis
Slope gradients
Soil erosion

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Española de Cooperación Internacional, a la Dirección General Española de Medio Ambiente y a la CICYT española por el soporte económico del proyecto dentro del cual se encuadra este trabajo. A D. F. Alvar, por la ayuda prestada en el análisis de los suelos. Al CERNAR de Córdoba (Argentina) por las facilidades para el desarrollo del estudio, en particular al Profesor M. Cabido y al Doctor M. Herrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AUSTIN M., 1987. Models for the analysis of species' response to environmental gradients. *Vegetatio*, 69: 5-45.
- BECKETT P. H. T., WEBSTER R., 1971. Soil variability: a review. *Soil Fert.*, 34: 1-15.
- BERNALDEZ F. G., PINEDA F. D., 1980b. Bases para la descripción integrada de los pastizales de dehesa. *Pastos*, 10 (1): 20-43.
- BERNALDEZ F. G. *et al.*, 1976. Estudios ecológicos en Sierra Morena. Monografías de ICONA, n.º 8. Madrid.
- BERNALDEZ F. G., HAEGER J. F., LEVASSOR C., MERINO J., RAMIREZ L., POU A., 1980a. La prospection intégrée de pâturages extensifs dans la Sierra Morena (Espagne). *L'Espace Géographique*, 3: 241-252.
- BERNALDEZ F. G., HERRERA P., LEVASSOR C., PECO B., SASTRE A., 1988. Las aguas subterráneas en el paisaje. *Investigación y Ciencia*, 142: 8-17.
- BURROUGH P. A., 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. Application of fractal concepts to nested levels of soil variations. *J. of Soil Sci.*, 31: 333-341.
- CASADO M. A., DE MIGUEL J. M., PECO B., GALIANO E. F., PINEDA F. D., 1985. Production and spatial structure of Mediterranean pastures during succession. *Vegetatio*, 64: 75-86.
- CASTRO I., 1988. Variación interanual de la microestructura de un pastizal entre etapas sucesionales. Tesis doctoral. Universidad Autónoma, Madrid.
- DE MIGUEL J. M., 1988. Estructura de un sistema silvopastoral de dehesa. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- DE PABLO C. L., PECO B., GALIANO E. F., NICOLAS J. P., PINEDA F. D., 1982. Space-time variability in mediterranean pastures analysed by means of diversity parameters. *Vegetatio*, 50: 113-125.
- ERHART H., 1956. La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson, Paris.
- GARCIA-NOVO F., 1968. Estudio conjunto de la vegetación y los factores del medio en un pastizal en Rodas Viejas, Salamanca. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- GARCIA-NOVO F., BERNALDEZ F. G., GIL A., 1969. Essais d'analyse automatique de la végétation et des facteurs du milieu. V Symp. *Flora Europaea*, Sevilla, 1967: 91-115.
- GOMEZ-SAL A., RODRIGUEZ M. A., ALVAREZ J., YANGUAS M. A. M., 1991. Diversidad de la biomasa aérea y subterránea como medida de la organización en pastos. En: F. D. Pineda *et al.*, (eds.): *Diversidad Biológica/Biological Diversity*. F. Areces-SCOPE-Adena/WWF, Madrid: 145-148.
- GOMEZ-SAL A., RODRIGUEZ M. A., DE MIGUEL J. M., 1992. Matter transfer and land use by cattle in a dehesa ecosystem of Central Spain. *Vegetatio*, 99-100: 345-354.
- HILL M. O., 1979. DECORANA- a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell Univ., Ithaca, New York.
- HOBBS R. J., ATKINS L., 1988. Effects of disturbance and nutrient addition on native and introduced annuals in plant communities in the Western Australian wheatbelt. *Aust. J. of Ecol.*, 13: 171-179.
- HOBBS R. J., ATKINS L., 1991. Interactions between annuals and woody perennials in a Western Australian reserve. *J. of Vegetation Sci.*, 2 (5): 643-654.
- LEVASSOR C., PINEDA F. D., BERNALDEZ F. G., 1981. Tipología de pastizales en relación con el relieve: la Sierra del Castillo, Madrid. *Pastos*, 11 (3): 45-68.
- MENGHI M., CABIDO M., PECO B., PINEDA F. D., 1989. Grassland heterogeneity in relation to lithology and geomorphology in the Córdoba Mountains, Argentina. *Vegetatio*, 84: 133-142.
- MINCHIN P. R., 1987. Simulation of multidimensional community patterns: towards a comprehensive model. *Vegetatio*, 71: 145-156.
- MONTALVO J., LEVASSOR C., CASADO M. A., PINEDA F. D., 1991b. Patrones de diversidad específica y fenotípica. En: Pineda F. D. *et al.*, (eds.): *Diversidad Biológica/Biological Diversity*. F. Areces-Adena, WWF-SCOPE, Madrid: 117-120.
- MONTALVO J., CASADO M. A., LEVASSOR C., PINEDA F. D., 1991a. Adaptation of ecological systems: compositional patterns of species and morphological and functional traits. *J. of Vegetation Sci.*, 2: 655-666.

- MONTALVO J., 1992. Estructura y función de pastizales mediterráneos. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- MONTSERRAT P., 1975. Fisiología del paisaje. Sem. Estructura y estabilidad del Ecosistema, Sevilla, 19 pp.
- PALMER M. W., DIXON P. M., 1990. Small-scale environmental heterogeneity and the analysis of species distributions along gradients. *J. of Vegetation Sci.*, 1: 57-65.
- PINEDA F. D., PECO B., 1988. Pastizales adehesados del área de El Pardo, Madrid. *Mundo Científico*, 79: 386-395.
- PINEDA F. D., NICOLAS J. P., RUIZ J. P., PECO B., BERNALDEZ F. G., 1981b. Successión, diversité et amplitude de niche dans les pâturages. *Adv. Veget. Science*, 4: 267-277.
- PINEDA F. D., NICOLAS J. P., PECO B., BERNALDEZ F. G., 1981a. Ecological succession in oligotrophic pastures of central Spain. *Vegetatio*, 44: 165-176.
- PUERTO A., RICO M., MATIAS M. D., GARCIA J. A., 1990. Variation in structure and diversity in Mediterranean grasslands related to trophic status and grazing intensity. *J. of Vegetation Sci.*, 1: 445-452.
- RUIZ M., 1980. Características de la variación de pastizales en zonas gráficas del Centro de la península Ibérica. Tesis doctoral. Universidad Autónoma, Madrid.
- SASTRE I., JIMENEZ R., PINEDA F. D., BERNALDEZ F. G., 1982. Tipología y erosión de los suelos en un área representativa de las estribaciones del Guadarrama (Cordillera Central). *Anal. Efa. y Agrobiol.*, 41 (5-6): 851-873.
- SOLNTSIEV V. N., 1974. O niekotorik fundamentalnykh svoitvakh gheosistemnoi struktury. En: *Akademiyu Nauk SSSR: Metody kompleksnykh issledovaniy gheosistem*. Irkutsk.
- STERLING A., PECO B., GALIANO E. F., PINEDA F. D., 1983. Microtopography and floristic variation on the ecological succession of grasslands. *Oikos*, 42: 334-342.
- WHITTAKER R. H., 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.*, 42: 207-264.