

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**  
**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO DE LA EXPOSICIÓN Y DE LA PENDIENTE EN  
ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO, FLORA Y VEGETACIÓN  
DE LA QUEBRADA DE LA PLATA, REGIÓN METROPOLITANA**

Hugo Leonardo Poblete Farías

Santiago, Chile. 2004

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EFEECTO DE LA EXPOSICIÓN Y DE LA PENDIENTE EN  
ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO, FLORA Y VEGETACIÓN  
DE LA QUEBRADA DE LA PLATA, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Agrónomo.  
Mención: Manejo de Suelos y Aguas.

Hugo Leonardo Poblete Farías

**PROFESORES GUÍAS**

Sr. Sergio Lailhacar K.  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Sr. Walter Luzio L.  
Ingeniero Agrónomo, M.S.

**PROFESORES CONSEJEROS**

Sr. Wilfredo Vera E.  
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Sr. Manuel Casanova P.  
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

**CALIFICACIONES**

Santiago, Chile. 2004

## AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer a quienes colaboraron para que este estudio se llevara a cabo:

A mis profesores guías, don Walter Luzio y don Sergio Lailhacar por su tiempo y dedicación y por el trato que recibí de ellos.

A Rodrigo Meza y Cecilia Escobar por cederme la información obtenida por ellos para yo poderla utilizar en esta memoria.

A las personas de los laboratorios de Riego y de Química de suelos, especialmente a Marisol.

A quienes me ayudaron en la descripción de los suelos y en el muestreo de la vegetación: a Juan y Elizabeth, a Patricia Melivilú y a Carlos Durán.

Por último, al Departamento de Ingeniería y Suelos por financiar los análisis químicos y físicos.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	5
SUMMARY	7
INTRODUCCIÓN	9
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
La materia orgánica del suelo	10
Relación de la materia orgánica con otras variables del suelo	12
Efecto del relieve y de la exposición en el desarrollo del suelo y de la vegetación	13
Relación Clima-Suelo-Vegetación	16
Efecto del clima sobre el suelo y la vegetación	17
Relación entre el suelo y la vegetación	17
Los asentamientos humanos como agentes morfológicos	19
Condiciones de clima, suelo y vegetación en la Quebrada de la Plata	19
MATERIALES Y MÉTODO	22
Materiales	22
Ubicación del área experimental	22
Clima	22
Suelos	23
Vegetación	23
Método	23
Descripción morfológica y muestreo de los suelos	24
Análisis de suelos	25
Análisis químicos	25
Análisis físicos	25
Descripción de la pendiente	25
Descripción florística y vegetacional del estrato herbáceo	26
Análisis estadístico	28

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
Ladera de exposición ecuatorial	29
Relieve y suelo	29
pH y materia orgánica	31
Granulometría	32
Densidad aparente	32
Contenido y retención de agua	33
Suelo sin cobertura leñosa y coberturas leñosas total y específicas	34
Cobertura herbácea total y suelo desnudo	37
Coberturas herbáceas específicas, contribuciones específicas de presencia y de contacto y composición del suelo desnudo	38
Estratificación herbácea	38
Diversidad florística herbácea	39
Densidades herbáceas total y específicas	40
Rendimiento y composición botánica de materia seca herbácea total	43
Relaciones clima-suelo-vegetación en la ladera de exposición ecuatorial	45
Ladera de exposición polar	48
Relieve y suelo	48
pH y materia orgánica	49
Granulometría	50
Densidad aparente	51
Contenido y retención de agua	52
Suelo sin cobertura leñosa y coberturas leñosas total y específicas	53
Coberturas leñosas específicas	54
Cobertura herbácea total y suelo desnudo	56
Coberturas herbáceas específicas, contribuciones específicas de presencia y contacto y composición del suelo desnudo	57
Estratificación herbácea	57
Diversidad florística herbácea	58

Densidades herbáceas total y específicas	59
Rendimiento y composición botánica de materia seca herbácea total	62
Relaciones clima-suelo-vegetación en la ladera de exposición polar	64
Diferencias edáficas y florístico-vegetacionales entre la ladera de exposición ecuatorial y la de exposición polar	66
Variables florísticas y vegetacionales generales	72
Índice de sociabilidad de las especies del estrato leñoso	72
Grado de asociación y disociación entre las especies del estrato leñoso	72
Índice de sociabilidad en las especies del estrato herbáceo	74
Grado de asociación y disociación entre las especies del estrato herbáceo	76
CONCLUSIONES	79
LITERATURA CITADA	81
APÉNDICES	89

## RESUMEN

Se comparó el efecto de la exposición y la ubicación toposecuencial sobre algunas propiedades del suelo, la flora y la vegetación en dos franjas ubicadas en laderas opuestas de la Quebrada de la Plata, Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva (33° 31' 51" S; 70° 53' 45" W). La quebrada presenta una pequeña desviación en la orientación noroeste-sureste.

Con este propósito se seleccionaron 4 transectos de 125 m de largo, distanciados a 15 m de acuerdo al estudio de Meza y Escobar (2001) en dos laderas de exposiciones opuestas (polar y ecuatorial), sobre los cuales se distribuyeron las unidades de muestreo de suelo y estrato herbáceo a 25, 75 y 125 m desde el fondo de la Quebrada.

El estrato herbáceo fue caracterizado a través de las variables porcentaje de suelo desnudo y de coberturas totales y específicas, estratificaciones totales y específicas, contribuciones específicas de contacto y de presencia, diversidad florística, densidades totales y específicas y rendimientos totales y específicos de materia seca epígea por m<sup>2</sup>, composición botánica de la materia seca, índice de sociabilidad intraespecífico y grado de asociación entre pares de especies. Para la caracterización del estrato leñoso se utilizó la información de Meza y Escobar (2001) quienes determinaron los porcentajes de suelo sin cobertura leñosa (SCL) y de coberturas leñosas totales (CLT) y específicas (CLE), el índice de sociabilidad y el grado de asociación entre especies. Las propiedades del suelo analizadas fueron pH, contenido de materia orgánica, densidad aparente, granulometría, contenido de agua al momento del muestreo y retención de agua a 33 y 1500 kPa.

Los valores obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y de regresión simple. Las fuentes de variación consideradas fueron las dos exposiciones y los tres niveles toposecuenciales.

La exposición resultó ser la fuente de variación más importante sobre las propiedades consideradas, lo que reafirma la fuerte dependencia del clima que tienen tanto las propiedades edáficas como las variables florísticas y vegetacionales.

Se observó un mayor desarrollo vegetal en la ladera de exposición polar, expresado a través de diferencias significativas en todas las variables consideradas, a excepción de la diversidad florística herbácea, mientras que de las propiedades del suelo, sólo la retención de agua a 33 kPa y los contenidos de limo y de arena presentaron diferencias significativas al comparar las laderas. Estos resultados confirman la mayor dinámica que presenta la vegetación respecto del suelo sometidos a condiciones de clima similares.

Respecto de la ubicación toposecuencial, tanto en la ladera de exposición ecuatorial como en la de exposición polar, los resultados no son concluyentes para determinar diferencias claras entre niveles altitudinales.

Palabras claves: estrato herbáceo, estrato leñoso, suelo, exposición, pendiente.



## SUMMARY

The effects of exposure and toposequence on some properties of the soil, flora and vegetation were compared in two strips located in opposite slopes at La Plata creek, at the Agricultural Experiment Station Germán Greve Silva.

Four transects 125 m-length, and 15 m separation were selected, according to Meza and Escobar survey (2001) in the two opposite hillsides (polar and equatorial exposure), on which soil and herbaceous stratum sample units were distributed at 25, 75 and 125 m from the creek bottom.

The herbaceous stratum was characterized through bare soil percentage, total and specific covers percentages, total and specific stratifications, contact and presence specific contributions, species diversity, total and specific densities, and total and specific yields of dry matter. The woody stratum was characterized using Meza and Escobar (2001) information. They determined the percentage of soil without woody cover (SDL) as well total (CLT) and specific (CLE) covers, sociability index within each species and association level between species. The soil properties studied were pH, organic matter content, bulk density, texture, and water content at sampling and water retention at 33 and 1500 kPa.

The values obtained were submitted to analysis of variance and regression. The sources of variation were the two exposures and the three level of toposequence.

The exposure was the most important source of variation on the properties considered. These results confirm the effect of the climate on soil, flora and vegetation properties.

A larger phytomass was observed in the polar oriented slope. This contrast is

expressed through significant differences in all the floristic and vegetational properties considered in the present research, excepting species diversity, while soil properties present significant differences in relation to water retention at 33 kPa and the contents of lime and sand only. These results confirm the greater dynamic of the vegetation than the soil, submitted to similar conditions of climate.

The toposequence position is not a significant source of variation in any two slopes.

Key words: herbaceous stratum, woody stratum, soil, exposure, toposequence.

## INTRODUCCIÓN

Para comprender las diferencias que presentan las unidades vegetacionales de una cuenca es necesario identificar las fuentes de variación que han participado más significativamente en sus evoluciones. Por lo general, las más importantes son de origen climático y edáfico, aun cuando exista una fuerte interdependencia entre clima, suelo y vegetación.

En los valles transversales de la zona central de Chile se evidencia un marcado contraste climático, edáfico, florístico y vegetacional entre las laderas de exposición ecuatorial y polar. Este contraste, originado por la diferencia de energía solar recibida por unidad de superficie, se manifiesta en los cambios que el suelo experimenta de acuerdo a su exposición. Aunque menos evidente, también se observa un efecto de la ubicación en la toposecuencia sobre el desarrollo de los suelos, de modo que un suelo ubicado en la parte alta de una ladera generalmente presenta un menor grado de evolución que el de la parte media y baja de la misma, lo que se expresa en un perfil menos profundo, una menor disponibilidad de agua y nutrientes para la vegetación y, por consiguiente, una menor capacidad sustentadora de fitomasa.

Como hipótesis, se asume que las propiedades del suelo y de la fitocenosis, expresadas éstas últimas a través de parámetros tanto florísticos como vegetacionales, mejoran en la exposición polar y a medida que disminuye la altura de la toposecuencia.

Este estudio tiene por objetivo evaluar el efecto de la exposición y de la ubicación toposecuencial en algunas características del suelo, de la flora y de la vegetación de la Quebrada de la Plata ubicada en la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva, Región Metropolitana.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Según Jenny (1941), el relieve es uno de los factores que, junto con el material generador, el tiempo, el clima y los organismos, determinan el desarrollo y las propiedades de los suelos. Uno de los componentes del relieve que tiene mayor relevancia sobre los procesos pedogénicos es el gradiente de la pendiente (Luzio, 1992). Es evidente que el suelo de una ladera tiene mayor profundidad en los tramos inferiores que en los superiores. Esta diferencia se debe al permanente transporte gravitacional de agua, solutos y materiales sólidos desde la parte alta hacia la baja de una ladera (Hausenbuiller, 1985). Un segundo componente del relieve es la exposición, cuyo efecto se refleja en las diferencias de temperatura y humedad entre la exposición polar y la ecuatorial. Por lo tanto, se espera que existan, al comparar ambas situaciones, diferencias tanto en la fitomasa como en la composición florística de la cubierta vegetal. Pero, a medida que la latitud aumenta, estos contrastes son también la consecuencia de diferencias en las características edáficas de la exposición polar comparada con la exposición ecuatorial (Buol *et al.*, 1973).

### La materia orgánica del suelo

La actividad biológica del suelo se sustenta en la disponibilidad de sustancias orgánicas en distintas etapas de descomposición y en la presencia de microorganismos capaces de utilizar ese substrato orgánico como fuente de energía y de carbono (Varnero, 1992).

En general, la materia orgánica del suelo provee aproximadamente 95% del N, 10 a 80% del P y 5 a 60% del K disponible para la vegetación (Amelung *et al.*, 2001).

La materia orgánica es un factor muy importante en la formación y desarrollo de los suelos (Kalbits *et al.*, 2000), ya que favorece la estructuración, así como la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico, contribuyendo a reducir las pérdidas por lixiviación de elementos como potasio, calcio y magnesio .

La principal fuente de materia orgánica del suelo son los tejidos vegetales (Brady, 1974), los que, una vez humificados y mineralizados, ponen a disposición de la vegetación los elementos nutrientes esenciales.

La variación del contenido de materia orgánica en el perfil puede ser considerable al comparar suelos diferentes, pero, en general, ocurre una disminución progresiva de su concentración desde la superficie hacia los horizontes más profundos (Robinson, 1960).

Brady (1974) indica que, aunque es muy difícil diferenciar el efecto del clima del de la vegetación natural sobre el contenido de materia orgánica de un suelo, se ha constatado que su disponibilidad es mayor en suelos desarrollados en ecosistemas de pastizal que en los forestales. Esto se atribuye a la diferente naturaleza, tasa de acumulación y de descomposición de los tejidos epigeos y radicales propios de cada forma de vida. Las raíces de las poáceas que, por lo general, dominan en el estrato herbáceo, tienen un ciclo de vida relativamente corto y son más finas y están mejor distribuidas en el perfil, mientras que la rizomasa de un bosque es eminentemente longeva y lignificada, contribuyendo esta última con una pequeña adición anual de tejidos radicales muertos y de fácil descomposición (Hausenbuiller, 1985). Robinson (1960) agrega que la adición de materia orgánica por depositación de mantillo superficial es menos efectiva que la proveniente de las raíces. En resumen, este último autor atribuye la diferencia en el aporte de materia orgánica de las especies herbáceas respecto a las leñosas a los siguientes factores: a) en el bosque, el aporte de materia orgánica se hace principalmente a través de la hojarasca acumulada sobre la superficie del suelo, lo que la expone a altas tasas de oxidación, b) en las praderas, los residuos más finos de hojas y tallos se incorporan más fácilmente al suelo y, junto con las raíces muertas, aseguran una incorporación más rápida y completa de los residuos en todo

el perfil, c) la mayor sequedad del suelo de pradera favorece la reducción de la descomposición biológica en contraposición a lo que ocurre en el suelo de bosque, generalmente más húmedo.

La dinámica del proceso de mineralización de la materia orgánica depende de numerosos factores, entre los cuales cabe señalar la temperatura, la humedad, las características físicas y químicas del substrato, así como la flora, la vegetación y la fauna dominantes (Varnero, 1992; Feng y Li, 2001). De estos, Espinosa (1982) destaca a la temperatura y la humedad como los factores físicos más importantes para determinar la actividad biológica del suelo.

#### Relación de la materia orgánica con otras variables del suelo

En el proceso de mineralización de la materia orgánica, por la acción enzimática de microorganismos, son principalmente liberados al suelo ácidos orgánicos,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4^+$ . Además, durante el proceso de nitrificación, fase complementaria a la mineralización, se liberan iones hidrógeno que, junto a los productos de la mineralización propiamente tal, contribuyen a bajar el pH del suelo (Domínguez, 1989).

La materia orgánica mejora la estructura del suelo, al formar agregados con la fracción no orgánica de éste. Esta agregación contribuye a favorecer la porosidad del suelo y, con ello, a incrementar la capacidad de retención de agua y su disponibilidad para las plantas (Vera y Casanova, 1992, Chenu *et al.*, 2000).

Cabe también destacar que el propio crecimiento de las plantas tiene un efecto directo sobre la estructura del suelo como resultado del desarrollo radical (Robinson, 1960; Lavelle, 2000).

Una de las variables del suelo que tiene gran influencia sobre su contenido de materia orgánica es la textura, ya que los suelos de texturas gruesas favorecen la circulación del aire y la captación de calor, permitiendo una descomposición de la materia orgánica más rápida que los suelos de texturas finas. Las partículas de arcilla ejercen un control directo sobre los procesos de mineralización de la materia orgánica. Los suelos con altos contenidos de arcilla presentan tasas más bajas de humificación y de mineralización de la materia orgánica. (Scott *et al.*, 1996; Chen *et al.*, 2002).

#### Efecto del relieve y de la exposición en el desarrollo del suelo y de la vegetación

La posición que ocupa un suelo en el paisaje constituye un factor determinante en las propiedades que éste desarrolla. La implicancia de la topografía se confirma a través de las diferencias que presentan los suelos ubicados en las distintas situaciones toposecuenciales. Estas diferencias se deben a combinaciones de microclimas y de procesos internos y superficiales que afectan de distinta manera a los materiales originales, dependiendo de la posición que ocupan en el relieve (Luzio, 1992; Hall, 1999).

Jenny (1941), señala que es posible observar diferencias en los rasgos morfológicos del suelo tanto en función de su ubicación en la toposecuencia como de la exposición.

Para Buol *et al.* (1973), las variaciones en exposición y ubicación toposecuencial influyen sobre la distribución de la energía solar, los contenidos de agua y de nutrientes de los suelos y, en consecuencia, las propiedades de la flora, vegetación y fauna que estos suelos soportan. Ello se atribuye a variaciones en:

1. Los factores que regulan la actividad biológica, tales como la radiación que recibe la vegetación y la fauna del suelo, y el posterior efecto de esta última en la mezcla de las fracciones minerales y orgánicas.

2. La exposición del suelo al viento y a la precipitación, tanto en forma de lluvia como de nieve.
3. Las condiciones de drenaje, incluyendo la profundidad del nivel freático.
4. La vulnerabilidad al escurrimiento y erosión.
5. La susceptibilidad a la remoción o a la acumulación de material por el viento.

En general, las diferencias de contenido de agua del suelo producidas por el relieve son grandes. Las variaciones en el régimen hídrico inducidas por diferencias en el tipo de relieve son a menudo la principal causa de los cambios observados en suelos ubicados en laderas que reciben la misma cantidad de precipitación (Hausenbuiller, 1985). Estos cambios se refieren principalmente a distintos grados de erosión y de saturación hídrica del suelo.

La temperatura del suelo depende principalmente de la radiación solar neta recibida, la cual varía en función de la época del año, la hora del día, la latitud, la altitud, la nubosidad, pero también lo hace en función de algunas propiedades intrínsecas, como es el caso del color, del tamaño de sus partículas, de su contenido de humedad, de su profundidad, además de la pendiente, exposición y cubierta vegetal (Renaud *et al.*, 2001).

La temperatura del suelo depende de balances de energía radiante y de flujos de calor y de agua (Benavides, 1992). En general, la ladera de exposición ecuatorial recibe una mayor cantidad de radiación solar y, por lo tanto, es más cálida, efecto que se refleja en el tipo de vegetación dominante y en el desarrollo del suelo (Robinson, 1960).

Relacionado a lo anterior, Ramírez (1992) determinó que en la pradera anual mediterránea la distribución de la energía sobre un suelo está directamente relacionada con



la capacidad y la tasa de germinación de las terófitas, al afectar la temperatura y el contenido de humedad del suelo. Esto se refleja en la cantidad de materia seca que un suelo es capaz de producir en función de su exposición. En general, en este tipo de clima, es mayor la cantidad de materia seca que produce una ladera con exposición polar que una de exposición ecuatorial (Olivares *et al.*, 1989).

De la misma manera, la temperatura del suelo afecta tanto a parámetros edáficos como florístico-vegetacionales, incluyendo entre estos últimos la morfología, el comportamiento y el metabolismo radical.

Birkeland (1984) señala que las diferencias en la exposición de las laderas determinan variaciones en las propiedades de los suelos como consecuencia de su efecto sobre las condiciones microclimáticas y vegetacionales. En consideración a lo anterior, utiliza el término toposecuencia para describir la variabilidad del suelo de una ladera o faldeo en el sentido de la pendiente debida a la participación de numerosos factores de naturaleza geomorfológica y pedológica. Los mayores contrastes se observan entre perfiles de las partes más altas, con mejor drenaje, y los de las partes más bajas que poseen mayores contenidos de arcillas y materia orgánica, pudiendo presentar, además, distintos grados de gleyzación.

Montecinos (1982), observó en suelos de zonas áridas, que el pH y la concentración de materia orgánica son las dos propiedades que evidencian mayores variaciones en función de la exposición, tanto en la superficie como en el resto del perfil. En general, la ladera de exposición polar presenta un mayor contenido de materia orgánica y valores de pH más bajos que la ladera de exposición ecuatorial.

En relación con el relieve, es también importante señalar la influencia que tiene el gradiente y las características de la pendiente. La continua remoción del suelo superficial por la erosión que ocurre en laderas con pendientes pronunciadas, mantiene expuestos los horizontes inferiores, y así, el suelo se modifica. Paralelamente, a medida que el horizonte

superficial que contiene materia orgánica en distintos grados de descomposición va perdiendo espesor, se experimenta una disminución de los elementos orgánicos que contribuyen a descomponer los minerales y a permitir la diferenciación de horizontes. En consecuencia, los suelos de pendientes pronunciadas, tienen un solum más delgado, menores contenidos de materia orgánica y horizontes menos definidos que los de los suelos propios de sectores planos o de pendientes más suaves (Millar, 1961).

El relieve también participa en la distribución de la lluvia, tanto en la superficie como en el interior del suelo. El efecto interno depende de las condiciones de drenaje del suelo. En la superficie, el efecto del microrrelieve está relacionado con el escurrimiento superficial y la concentración del agua de lluvia sobre el suelo. En sectores de relieve convexo tiende a haber una mayor evaporación que en el relieve cóncavo.

Otra consecuencia de la configuración de la pendiente sobre los suelos es que, en general, la profundidad del perfil es mayor en las zonas bajas y de relieve plano o convexo que en zonas las altas y de relieve cóncavo.

### Relación Clima-Suelo-Vegetación

Jenny (1941), describe la interrelación entre clima, suelo y organismos como un triángulo en el que el clima afecta directamente al suelo y a los organismos. El suelo proporciona el soporte mecánico, los elementos nutrientes y agua que las plantas necesitan, mientras que éstas lo protegen de la erosión y le aportan materia orgánica, ambos factores determinantes en el comportamiento biológico del suelo (Hausenbuiller, 1985). Debido a esto, es difícil medir el efecto pedogénico del factor biótico por la fuerte dependencia del clima que éste tiene (Birkeland, 1984).

### Efecto del clima sobre el suelo y la vegetación

El clima es el principal agente que determina la distribución de la flora y la vegetación en el planeta, y su influencia se debe principalmente a la temperatura y la precipitación (Hausenbuiller, 1985). De la misma manera, el clima es considerado como el factor más importante en la determinación de las propiedades de muchos suelos (Birkeland, 1984). Los horizontes superficiales son más susceptibles a los cambios climáticos y una gran parte de sus características responde directamente a ellos. Las propiedades morfológicas y mineralógicas del suelo más correlacionadas con el clima son los contenidos de materia orgánica y de arcilla, la clase de arcillas y minerales férricos, el color, la presencia de varios extractos químicos como  $\text{CaCO}_3$  y otras sales más solubles (Birkeland, 1984, Amelung *et al.*, 1997).

### Relación entre el suelo y la vegetación

Según Robinson (1960), los primeros indicios de desarrollo de un suelo aparecen tan pronto es colonizado por las especies pioneras. La presencia de vegetación acelera los procesos de meteorización, tanto por la liberación de  $\text{CO}_2$  proveniente de la respiración, como por el aporte de materia orgánica y de los ácidos húmicos que provienen de su descomposición. Sin embargo, la meteorización biológica propiamente tal sólo procede cuando las raíces participan en el agrietamiento y fractura de las rocas y el material coloidal que está en íntimo contacto con la superficie de la roca o mineral contribuye a su escamación, como consecuencia de las sucesivas etapas de hidratación y deshidratación (Birkeland, 1984).

Si bien las plantas pueden agruparse en varias formas de vida, no cabe dudas que los extremos están representados por las hierbas y los árboles y, por consiguiente, los

ecosistemas donde cada uno de estos dos grupos domina se denominan pastizales (tundra, pradera, coironal) y forestales (taiga, bosque y selva), respectivamente. A su vez, ambos grupos se pueden dividir en pastos altos y cortos o bien en pastos anuales y perennes, en el caso de los pastizales y en bosque de coníferas, de angiospermas de hoja persistente y de hoja caduca en el caso de los forestales (Millar, 1961).

La incorporación de residuos vegetales al suelo, no sólo aumenta su contenido de materia orgánica, sino que también ejerce una marcada influencia en su evolución (Luzio, 1992).

Un mismo material generador puede dar lugar a suelos distintos debido a diferencias en exposición a la luz solar y cubierta vegetal (Ibarra, 1980). Estas diferencias serían producto de la magnitud de la degradación de la cubierta vegetal y de la posición topográfica del suelo. De la misma manera, materiales generadores de distinto origen, pero con una misma cubierta vegetal, pueden producir suelos similares, debido a la dinámica de flora y de la vegetación a través de la materia orgánica que éstas generan.

La propiedad del suelo que tiene un mayor efecto sobre la distribución y fisonomía vegetacional es la textura a través de su acción en el comportamiento hídrico de los suelos, que determina en gran medida la cantidad de agua disponible para las plantas (Sepúlveda, 1999).

#### Los asentamientos humanos como agentes morfológicos

Finalmente, cabe subrayar la participación que han tenido los asentamientos humanos como agentes morfológicos, particularmente en terrenos con pendientes susceptibles a procesos de erosión, ya sea acelerándolos a través de la destrucción de la cubierta vegetal, como también, controlándolos o rehabilitándolos a través de medidas de conservación y

recuperación (Derruau, 1966). Entre las actividades que mayor impacto han tenido en la alteración de los ecosistemas a través de la erosión acelerada, polución atmosférica y contaminación de suelos y aguas están las inherentes a la minería. Sin embargo, las actividades ganaderas y las agrícolas también han contribuido a la desertificación de numerosos ecosistemas, la que se evidencia principalmente por la degradación de los estratos arbustivos y arbóreos y la regresión florística del estrato herbáceo (Toro *et al.*, 1983).

#### Condiciones de clima, suelo y vegetación en la Quebrada de la Plata.

CIREN-CORFO (1990) ubica a la Quebrada de la Plata en el distrito de Cerros de Corneche-El Sauce, perteneciente al Cordón Costero Occidental, cuya evapotranspiración potencial entre diciembre y febrero es de 470 mm y cuyo déficit hídrico entre octubre y marzo es de 862 mm.

El régimen térmico se caracteriza por veranos más bien calurosos y secos e inviernos relativamente fríos propios del clima del llano central. El régimen hídrico, según datos de la estación meteorológica del sector seco de la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva, observa un promedio de precipitación anual de 308 mm (Olivares *et al.*, 1998) con una concentración de las lluvias en los meses de junio a septiembre y un período seco prolongado durante los meses restantes (Santibáñez *et al.*, 1990).

La cuenca está constituida por mantos de depósitos marinos de caliza jurásica con yacimientos de hierro, que han sido intensamente explotados. En general, puede decirse que el perfil de estos suelos consta de dos horizontes y alcanza una profundidad de 50 cm. El color de estos horizontes, que va del gris al gris oscuro, pone en evidencia un cierto grado de acumulación de materia orgánica. También se observa una considerable presencia de piedras y rocas en el perfil.

Debido al desprendimiento gravitacional de bloques rocosos, es posible encontrar piedras de cantos agudos de 10 y más cm de diámetro, junto a piedrecillas filosas y ásperas de menor tamaño que provienen de la roca fundamental en ambas laderas (López, 2000).

La ladera de exposición polar, caracterizada por presentar una formación de bosque abierto, presenta un suelo que posee un horizonte Ao con alta presencia de detritos orgánicos y un perfil con abundancia de raíces leñosas gruesas y delgadas en disposición horizontal y vertical (Schlegel, 1963).

La vegetación del distrito se caracteriza por ocupar lomajes de pendiente suave asociados a extensas superficies planas y presentar una fisonomía homogénea, dominada por arbustos altos y dispersos y árboles bajos, de los cuales el espino (*Acacia caven* Mol.) es la especie dominante. Si bien es cierto que el espinal corresponde a una sucesión secundaria, resultante de la degradación provocada por el hombre y de la dispersión de sus semillas por el ganado, en los valles, llanos, quebradas y otros lugares menos intervenidos, aún subsisten muchas de las asociaciones originales de bosque esclerófilo. Este último rasgo es característico en la Quebrada de la Plata, donde es posible encontrar especies esclerófitas arbóreas como: Litre (*Lithraea caustica*), Quillay (*Quillaja saponaria*) y Peumo (*Cryptocarya alba*), principalmente con exposición polar, si bien domina el matorral arbustivo propio de este tipo de situación.

Schlegel (1963) señala que, desde el punto de vista fitogeográfico, la vegetación de la Quebrada de la Plata corresponde a la zona mesomórfica o de los matorrales arborescentes esclerófilos y xerófitos. Las comunidades vegetales existentes se encuentran fuertemente diferenciadas debido, principalmente, al efecto combinado de posición fisiográfica, exposición, suelo y grado de intervención antrópica.

En el tramo plano e inferior de la ladera de exposición ecuatorial predomina un piso temporal de poáceas anuales, asociadas a otras terófitas y arbustos de espino (*Acacia*

*caven*), tebo (*Trevoa trinervis*), guayacán (*Porlieria chilensis*) y grupos dispersos de quebracho (*Cassia closiana*). En los tramos superiores, de mayor pendiente, domina el arbusto colliguay (*Colliguaja odorifera*) alternado con quiscos (*Trichocereus chiloensis*) y chaguales (*Puya berteroniana*) en los sectores más escarpados y pedregosos (Sallaberry *et al.*, 1996).

## MATERIALES Y MÉTODO

### Materiales

#### Ubicación del área experimental

El estudio se realizó en dos laderas opuestas de la Quebrada de la Plata, de la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva, dependiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana. Las coordenadas geográficas del área estudiada son 33°31'51" de latitud sur y 70°53'45" de longitud oeste.

#### Clima

Se encuentra en el distrito agroclimático de clima templado, semiárido, mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido (Santibáñez *et al.*, 1990). El total de las precipitaciones del año 2001 fue 334,6 mm, correspondiendo a un año normal según la clasificación de Gastó (citado por Olivares *et al.*, 1998). La distribución de las lluvias fue: 6,1 mm en abril, 44,6 en mayo, 231,7 en julio, 48,1 en agosto y 4,1 en septiembre.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Alfredo Olivares. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. (“comunicación personal”).



## Suelos

Según Schlegel (1963), los suelos de la Quebrada de la Plata son de origen coluvial y su material generador en su mayor parte consiste en porfirita y conglomerado.

Más recientemente, estos suelos han sido incluidos en la Asociación Mansel (CIREN-CORFO, 1996).

## Vegetación

De acuerdo con Gajardo (1994), la formación vegetacional de la Quebrada de La Plata forma parte del “Matorral Espinoso del Secano Costero”.

## Método

El área experimental consistió en dos franjas de 60 m de ancho por 125 m de largo dirigidas en el sentido de la pendiente: (1) con exposición polar y (2) con exposición ecuatorial.

La selección del área experimental se definió de acuerdo a un estudio previo de Meza y Escobar (2001).

En el centro de cada franja y en cada exposición, se seleccionaron los sitios de muestreo de suelos y vegetación, a 25, 75 y 125 m del fondo del valle.

La simbología utilizada para denominar las exposiciones y los niveles de altura dentro de la pendiente se resume en el cuadro 1.

Cuadro 1. Simbología utilizada para representar exposición y ubicación en la toposecuencia

Exposición	Ubicación en la toposecuencia	Símbolo
Ecuatorial	Bajo (25 m)	EE1
Ecuatorial	Medio (75 m)	EE2
Ecuatorial	Alto (125 m)	EE3
Polar	Bajo (25 m)	EP1
Polar	Medio (75 m)	EP2
Polar	Alto (125 m)	EP3

#### Descripción morfológica y muestreo de los suelos

En cada exposición y a cada altura (25, 75 y 125 m) del fondo de la quebrada se cavaron calicatas hasta alcanzar el substrato rocoso. La descripción de la morfología del suelo se realizó según el manual del USDA Soil Survey División Staff (1993). Se tomaron muestras disturbadas de suelos de los horizontes superficiales de la siguiente manera:

- a) En la franja experimental de 150 m de largo dispuesta en cada exposición, en el sentido de máxima pendiente, se ubicaron cuatro transectos paralelos y sucesivamente distanciados a 15 m.
- b) En cada transecto se establecieron tres unidades de muestreo, a 25, 75 y 125 m del fondo de la quebrada y, por consiguiente, coincidentes con la altura de las calicatas en que se describieron los suelos.
- c) En cada punto, se tomaron muestras de suelo del horizonte superficial.
- d) Separadamente, se tomaron muestras no disturbadas en cada punto para la determinación de la densidad aparente.

e) Este procedimiento se repitió para ambas laderas.

### Análisis de suelos

Los análisis a que se sometieron las muestras de suelo fueron:

Análisis químicos: - pH (H<sub>2</sub>O 1:2,5) (Sadsawka, 1990).

- Contenido de carbono orgánico (Walkley-Black) (Sadsawka, 1990).

Análisis físicos: - Retención de agua (33 kPa y 1500 kPa) (Hernández *et al.*, 1991).

- Contenido de agua (Gravimétrico) (Hernández *et al.*, 1991).

- Densidad aparente (método del terrón) (Hernández *et al.*, 1991).

- Granulometría (método del hidrómetro) (Hernández *et al.*, 1991).

### Descripción de la pendiente

Se determinó en terreno en cada exposición y a la altura de cada calicata:

a) Largo, que para el estudio coincide con el largo de la franja de estudio, 125 m.

b) Gradiente, que es la inclinación de la pendiente en relación a un plano horizontal. Se expresa en porcentaje.

c) Exposición o aspecto, que es la dirección a la que se orienta la pendiente.

d) Configuración, que es la forma que presenta la pendiente. Puede ser horizontal o vertical, cóncava o convexa.

### Descripción florística y vegetacional del estrato herbáceo

La caracterización de la flora y vegetación herbácea se realizó a mediados de primavera, fines de octubre de 2001, cuando la mayor parte de las terófitas, o anuales, que la constituyen habían alcanzado su máximo desarrollo.

Recurriendo a los mismos sitios utilizados para la caracterización de los suelos, se evaluaron las variables florísticas y vegetacionales. La metodología utilizada para este fin está resumida en los siguientes pasos:

a) Utilizando el método del *Point Quadrat* de Poissonet, modificado por Lailhacar (2001a) (tramos de 4 m sobre los que se realizaron 100 lecturas a cada 4 cm) se determinó las siguientes variables:

- Porcentaje de suelo desnudo, que corresponde al número de bajadas de aguja en que no hay contacto con ningún tejido vegetal vivo.
- Porcentajes de coberturas herbáceas totales y específicas, que es el número de bajadas de aguja en que hay contacto con algún tejido vivo, considerado como total o separadamente por especie, respectivamente.
- Estratificaciones herbáceas totales y específicas, que son los cuocientes entre los contactos totales o específicos y las presencias totales o específicas, respectivamente.
- Porcentajes de contribuciones específicas de contacto y de presencia del estrato herbáceo, que son los cuocientes entre la sumatoria de contactos y la sumatoria de presencias de una determinada especie, multiplicados por 100.

b) Del mismo modo, pero utilizando cuadrantes de muestreo de 0,5 m<sup>2</sup>, se determinó:

- Diversidad florística del estrato herbáceo, que es el listado de especies herbáceas que crecen en el interior del cuadrante de muestreo.

- Densidades herbáceas totales y específicas por  $m^2$ , que es el número de individuos totales o de una determinada especie, respectivamente, cuyos puntos de inserción al suelo están dentro de la unidad de muestreo.
- Rendimientos totales y específicos de materia seca herbácea epígea por  $m^2$ , mediante cosecha y secado de las muestras a  $75^\circ C$  por 48 horas, que representa la cantidad de materia seca producida en una unidad de superficie.
- Composición botánica de la materia seca, que es el porcentaje de participación de cada especie en el rendimiento de materia seca herbácea total.

c) Finalmente, se determinó el índice de sociabilidad (IS) o de gregarismo intraespecífico de las especies encontradas, recurriendo a la fórmula (1) propuesta por Daubenmire (1968), así como el grado de asociación entre pares de especies mediante la fórmula (2) de  $X^2$  descrita por Kershaw (1971).

$$(1) \quad IS = \frac{\text{Densidad específica media}}{\text{Frecuencia específica}}$$

Donde:  
la frecuencia específica se expresa en tanto por uno.

$$(2) \quad X^2 = \frac{(ad-bc)^2 n}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

Donde:  
a = número de casos con ambas especies.  
b = número de casos con sólo especie 1.  
c = número de casos con sólo especie 2.  
d = número de casos sin especies 1 ni 2.  
n = número total de casos.

d) Para la caracterización del estrato leñoso se utilizó la información de Meza y Escobar (2001) procedente de los mismos transectos, quienes determinaron, en marzo de 2000, los porcentajes de suelo sin cobertura leñosa (SDL), así como los de coberturas leñosas totales (CLT) y específicas (CLE) a través del método del “Transecto Suspendido”, descrito por Lailhacar (2001b).

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental de bloques aleatorizados, cuya información fue sometida a análisis de varianza factorial en el que se consideró el comportamiento de cada una de las variables dependientes descritas para el suelo y la fitocenosis en función de las dos fuentes de variación consideradas: las dos exposiciones y las tres situaciones de toposecuencia de cada ladera. Las medias se compararon a través de pruebas de comparaciones múltiples de Duncan (probabilidades de 99 y 95 %), debiendo ser previamente transformadas a grados Bliss las variables expresadas en porcentaje. Cada bloque representa uno de los cuatro transectos que abarca las dos exposiciones, de modo que cada tratamiento cuenta con cuatro repeticiones.

Considerando la heterogeneidad propia de los ecosistemas naturales y, muy particularmente de sitios escarpados como es el caso de la presente franja experimental, la información obtenida se sometió además a análisis de regresión que contribuyan a explicar el grado de interdependencia entre todas las variables consideradas. En este caso, se tomó cada par de variables y se determinó su coeficiente de correlación simple ( $r$ ) separadamente en cada ladera para, posteriormente, comparar las correlaciones entre exposiciones.

Se utilizaron los símbolos \* y \*\* para indicar significancia a 95% y 99%, respectivamente.

## PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con el fin de facilitar la interpretación de la información, este capítulo se dividió en las cuatro secciones siguientes:

- a) Presentación y discusión de los resultados obtenidos en la ladera de exposición ecuatorial.
- b) Presentación y discusión de los resultados obtenidos en la ladera de exposición polar.
- c) Comparación de las características edáficas y florístico-vegetacionales entre ambas laderas.
- d) Análisis de las variables florísticas y vegetaciones generales, es decir, que involucran conjuntamente información proveniente de ambas laderas.

### Ladera de exposición ecuatorial

#### Relieve y suelo

En EE1, la franja experimental se inicia a 580 msnm. La pendiente transversal es 6% y la longitudinal 60%. La profundidad del suelo en la calicata es de 94 cm sobre el substrato rocoso, con una capa superficial de 4 cm de acumulación de material fino mezclado con gravas. Los colores varían desde pardo (10 YR 4/3) en seco hasta pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo, siendo la clase textural dominante franco arenosa y

el tipo de estructura de bloques. Se describieron 3 horizontes: A1, B y C.

En EE2, la franja experimental se inicia a los 608 msnm. La pendiente transversal es 11% y la longitudinal 60%. La profundidad del suelo en la calicata es de 55 cm sobre el substrato rocoso y la capa de acumulación superficial es de 3 cm acompañada de depósito de gravas. Los colores en seco son pardos (10 YR 5/3) y (7.5 YR 4/3), y en húmedo fluctúan entre el pardo oscuro (7.5 YR 3/2) y el pardo rojizo oscuro (5 YR 3/2), siendo la clase textural dominante franco arcillo arenosa y el tipo de estructura de bloques. Se describieron 4 horizontes: A1, A2, B y C1.

En EE3, la franja experimental se inicia a los 634 msnm. La pendiente transversal es 8% y la longitudinal 60%. La profundidad del suelo en la calicata es de 48 cm sobre el substrato rocoso, con una capa de acumulación superficial de 2 cm acompañada de gravas. Los colores presentan un cambio desde pardo oliva claro (2.5 Y 5/3) en seco a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, lo que podría ser un índice de condiciones de reducción temporales. La clase textural es franco arenosa en los 2 horizontes superiores y franco arcillo arenosa en el más profundo. El tipo de estructura es de bloques en los dos primeros horizontes y masiva en el horizonte más profundo. Se definieron 3 horizontes: A1, B, 2C.

Se observa una progresiva disminución de la profundidad del suelo desde EE1 hacia EE3, observándose una distribución similar de los horizontes en el perfil, salvo en EE2 que presenta un horizonte A2 entre el A1 y el B. Si bien la pendiente transversal presenta ligeras diferencias, la longitudinal es la misma en los tres tramos considerados. Tanto la estructura como la textura no presentan cambios importantes al comparar las tres situaciones.

La descripción completa de las tres calicatas se presenta en el Apéndice 1.



pH y materia orgánica

En la ladera de exposición ecuatorial el pH aumenta con la altitud. Esta tendencia se observa en la Figura 1, donde se compara con el contenido de materia orgánica, el que, en cambio, experimenta una leve disminución. Sin embargo, ambas tendencias no muestran diferencias significativas al comparar las medias de los tres niveles de altura. La ausencia de diferencias significativas entre medias aparentemente diferentes (Figura 1), se atribuye a los elevados coeficientes de variación observados entre las cuatro repeticiones, situación recurrente en investigaciones desarrolladas en ecosistemas de relieve escarpado. Por esta misma razón, aunque la tendencia general señala que al aumentar el contenido de materia orgánica disminuye el pH, en este caso no se detectó un coeficiente de correlación estadísticamente significativo (Apéndice 2, Cuadro 1). Esta situación es producto tanto de la inestabilidad del horizonte superficial como de la baja capacidad tampón que presentan los suelos de clases texturales arenosas. La disminución del contenido de materia orgánica con el aumento de la altura, respondería en parte a la reducción de las coberturas herbácea y leñosa así como a la remoción y arrastre de la materia orgánica desde EE3 hacia abajo.

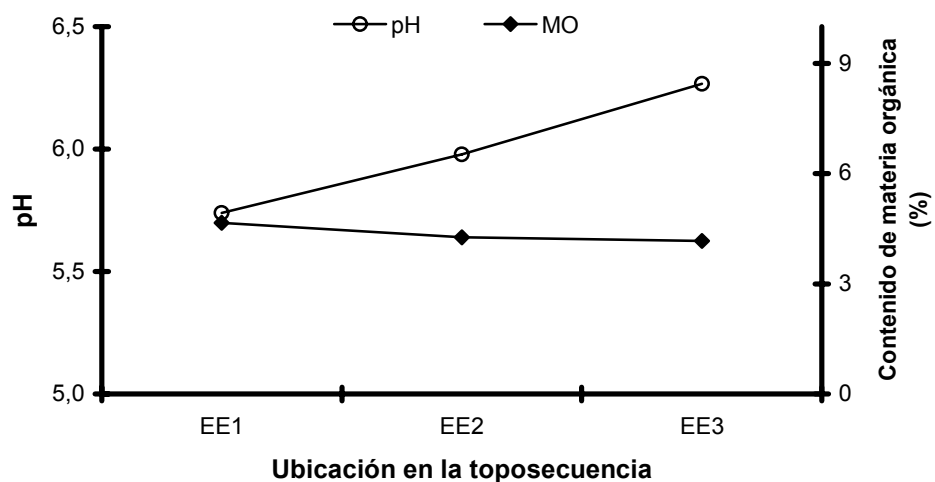


Figura 1. Variación del pH y del contenido de materia orgánica en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

### Granulometría.

La Figura 2 permite constatar una gran uniformidad en los porcentajes de los tres separados texturales en la ladera de exposición ecuatorial al comparar las tres situaciones toposecuenciales

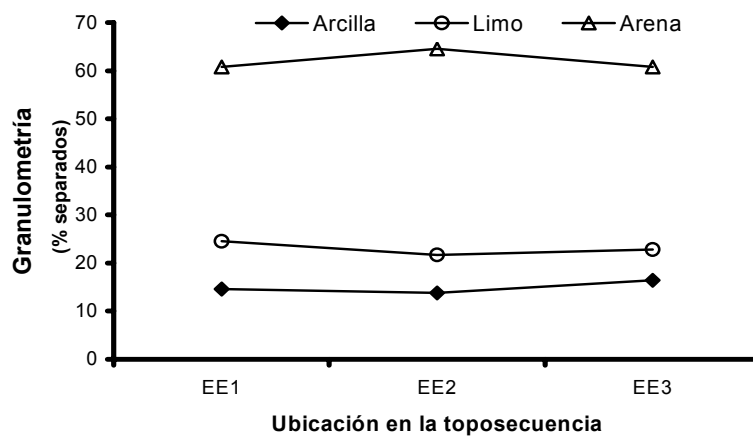


Figura 2. Variación de la granulometría en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

En los tres niveles toposecuenciales los porcentajes de arena son superiores al 60%, correspondiendo a la clase textural franco arenosa (Apéndice 2, Cuadro 7 y Apéndice 1), lo que confirma la tendencia descrita por Fauck (citado por Flores, 1983) quien señala que las texturas gruesas predominan en zonas áridas y semiáridas.

### Densidad Aparente

La densidad aparente del horizonte superficial muestra un comportamiento errático al considerarla en función de la altura en la ladera de exposición ecuatorial (Figura 3). El valor máximo de densidad aparente en esta ladera,  $1,6 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ , se da en EE2 y el mínimo,  $1,47 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ , en EE3, pudiéndose atribuir este comportamiento a una situación de compactación superficial localizada, especialmente en EE1 como consecuencia del paso más frecuente de gente y ganado (Allende,1993). No obstante las diferencias observadas en los valores promedios, presentados en la Figura 3, no se detectaron diferencias significativas al comparar las medias de los tres niveles altitudinales, lo que se atribuye a la considerable variación observada entre las repeticiones del mismo tratamiento.

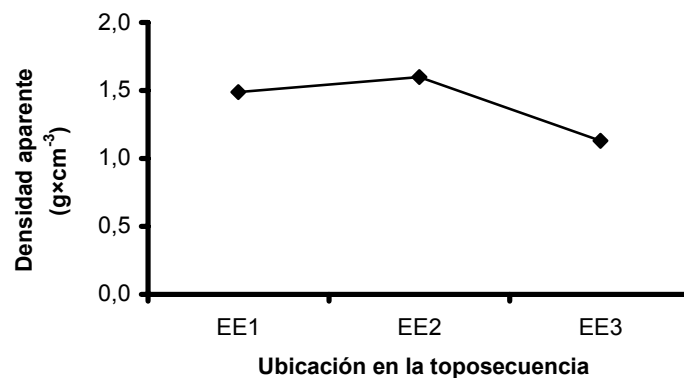


Figura 3. Variación de la densidad aparente en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

### Contenido y retención de agua

Las Figura 4 presenta los valores de contenido de agua en las tres situaciones consideradas en este estudio: a) al momento del muestreo ( $P_w$ ), b) a 33 kPa y c) a 1500 kPa.

A excepción de la retención de humedad a 33 kPa que tiene el valor más bajo en EE2, la ladera de exposición ecuatorial presenta valores progresivamente más alto en las tres variables a medida que aumenta el nivel de altura. Esta tendencia estaría explicada por la alta correlación que se presenta entre el contenido de agua y la retención de agua y el porcentaje de arcilla ( $r= 0,78^{**}$  con Pw y  $0,68^{**}$  con 1500 kPa). De estas propiedades del suelo, tanto Pw como la retención a 1500 kPa mostraron diferencia estadísticamente significativa (\*\*) al comparar los tres niveles de altura.

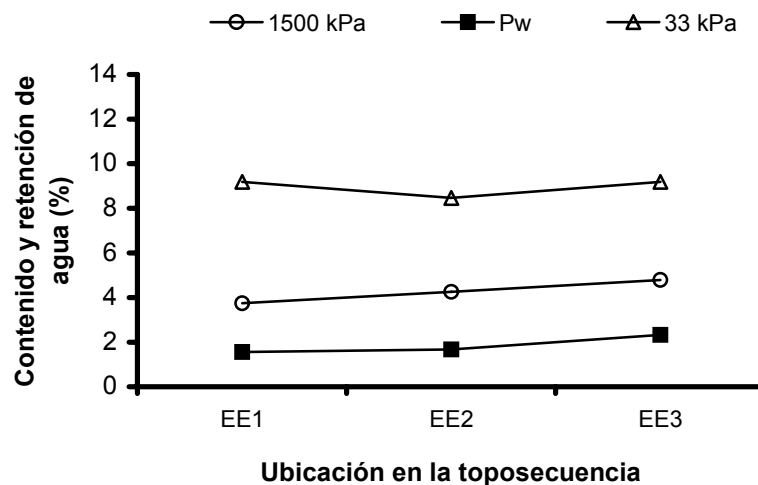


Figura 4. Variación del contenido de agua al momento del muestreo (Pw) y retención de agua a 33 y 1500 kPa en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

#### Suelo sin cobertura leñosa y coberturas leñosas total y específicas

Los porcentajes de suelo sin cobertura leñosa (SDL) y de cobertura leñosa total (CLT) de la exposición ecuatorial, provenientes de Meza y Escobar 2001, se presentan en la Figura 5. Se observa que la cobertura leñosa tiende a disminuir a medida que aumenta la

altura de la ladera, presentando el máximo valor en EE1, y que, por consiguiente, el suelo sin cobertura leñosa presenta la tendencia contraria. Sin embargo, ninguna de las dos variables presenta diferencias significativas entre los niveles altitudinales en esta ladera como consecuencia de la elevada variación entre las repeticiones.

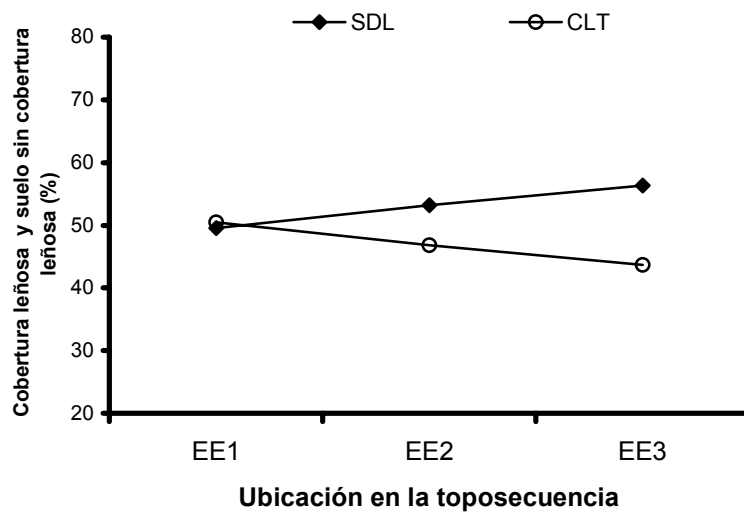


Figura 5. Variación de los porcentajes de cobertura leñosa total (CLT) y de suelo sin cobertura leñosa (SDL) en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial (adaptado de Meza y Escobar 2001).

En el Cuadro 2 se presentan las coberturas leñosas específicas determinadas para la ladera de exposición ecuatorial. La diversidad florística del estrato leñoso es de 13 especies. La especie que domina en los tres niveles altitudinales es *Solanum ligustrinum*, arbusto que presenta un escaso desarrollo individual, pero una alta densidad poblacional. En orden decreciente, le siguen *Colliguaja odorifera*, *Ophryosporus paradoxus* y *Baccharis paniculata*, que presentan características similares a *Solanum ligustrinum*. *Acacia caven* es la única especie arbórea que se describió en esta ladera, lo que respondería a las condiciones edafoclimáticas imperantes, caracterizadas por una baja disponibilidad de agua, un perfil relativamente delgado y una escasa retroalimentación de nutrientes como

consecuencia del arrastre de suelo y materia orgánica ladera abajo, especialmente en los estratos medio y alto.

Cuadro 2. Variación de los porcentajes de coberturas leñosas específicas de la ladera de exposición ecuatorial en las tres ubicaciones toposecuenciales (adaptado de Meza y Escobar, 2001).

Especies leñosas	Cobertura específica (%)		
	EE1	EE2	EE3
<i>Solanum ligustrinum</i>	16,43	20,30	20,69
<i>Colliguaja odorifera</i>	-	2,49	10,13
<i>Ophryosporus paradoxus</i>	5,66	2,77	0,55
<i>Baccharis paniculata</i>	4,49	0,87	1,56
<i>Acacia caven</i>	0,54	3,40	0,65
<i>Trichocereus chiloensis</i>	-	3,14	0,53
<i>Puya berteroniana</i>	-	1,71	0,63
<i>Porlieria chilensis</i>	0,44	1,01	-
<i>Podanthus mitiqui</i>	-	0,10	1,34
<i>Proustia ilicifolia</i>	1,41	-	-
<i>Flourensia thurifera</i>	0,84	-	-
<i>Proustia reticulata</i>	0,25	-	0,23
<i>Trevoa trinervis</i>	0,14	-	-

Se observa también una distinta distribución de las especies en función de la ubicación en la pendiente, lo que está determinando una relativa estratificación del estrato leñoso en esta ladera. De esta manera se aprecia que *Proustia ilicifolia*, *Flourensia thurifera* y *Trevoa trinervis* sólo se presentan en EE1. Por su parte, *Colliguaja odorifera*, *Trichocereus chiloensis*, *Puya berteroniana* y *Podanthus mitiqui* están presentes en EE2 y EE3 exclusivamente. Asimismo se observan especies como *Solanum ligustrinum*, *Ophryosporus*

*paradoxus*, *Baccharis paniculata* y *Acacia caven* que están presentes en los tres tramos altitudinales.

### Cobertura herbácea total y suelo desnudo

Los porcentajes de cobertura herbácea total (CHT) y de suelo desnudo (SDH) de la ladera de exposición ecuatorial se presentan en la Figura 6. Los valores de cada variable son similares en EE1 y EE3, pero presentan una pequeña diferencia con EE2, la que no alcanza a ser estadísticamente significativa.

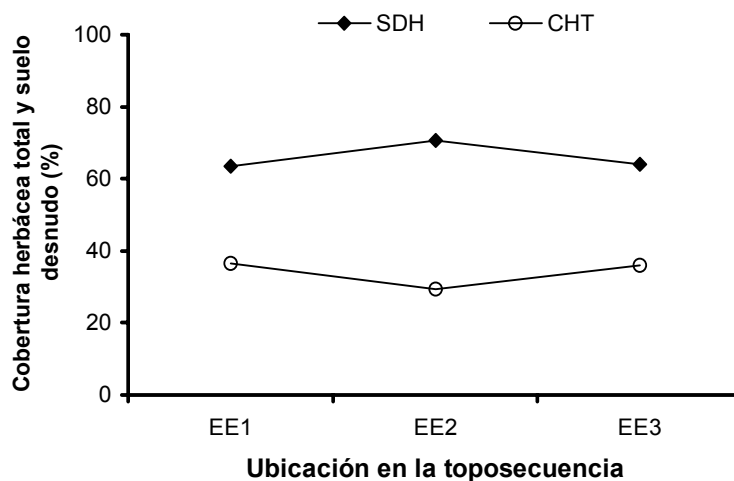


Figura 6. Variación de la cobertura herbácea total y del suelo desnudo en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

El valor mínimo de suelo desnudo y, por consiguiente, máximo de cobertura herbácea se observa en EE2, lo que se atribuye al mayor contenido de agua del horizonte superficial. El contenido de agua, factor crítico en el desarrollo vegetacional de ecosistemas de zonas semiáridas, está determinando que, pese a las diferencias que el suelo presenta en

contenido de materia orgánica y profundidad del perfil, las variables del estrato herbáceo no presenten diferencias importantes entre los niveles de altura.

Coberturas herbáceas específicas, contribuciones específicas de presencia y de contacto y composición del suelo desnudo.

La especie que presenta los mayores valores para las tres primeras variables en EE1 y EE3 es *Bromus berterianus*, mientras que en EE2 lo hace *Pectocarya linearis*. Por su parte, mientras que *Oxalis micrantha* y *Pectocarya linearis* siguen en importancia a *Bromus berterianus* en EE1, *Herniaria cinerea* y *Vulpia dertonensis* lo hacen en EE2 y EE3, respectivamente. Llama la atención la importancia que tiene *Herniaria cinerea* en EE2, siendo que en los otros tramos su participación es casi nula.

En relación con el porcentaje de suelo desnudo, se observó que, del total de este, en EE1 32,54% corresponde a piedra, 39,21% a material fino y 28,23% a mantillo, mientras que en EE2, 37,45% corresponde a piedra, 41,34% a material fino, 20,14% a mantillo y 1,00 % a guano de conejo y, finalmente, en EE3, 27,34% a piedra, 47,66 a material fino y 25,00% a mantillo.

El listado con los datos de estas variables de la ladera de exposición ecuatorial se detalla los Cuadros 1, 2 y 3 del Apéndice 3.

Estratificación herbácea

La Figura 7 ilustra los valores de estratificación herbácea total de la ladera de exposición ecuatorial. Se observa un aumento desde EE1 a EE3, comportamiento que estaría respondiendo al hábito de crecimiento de las especies más abundantes, principalmente que



al contenido de agua retenido a 1500 kPa ( $r= 0,57^*$ ), variable del suelo que en último término representa la mínima cantidad de agua que las plantas pueden absorber.

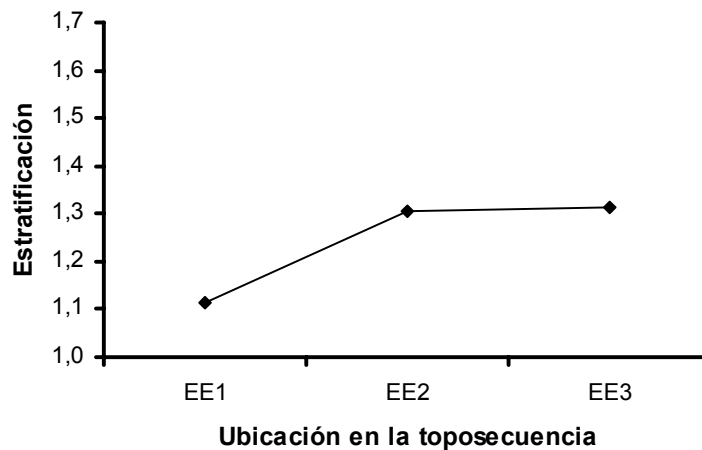


Figura 7. Variación de la estratificación herbácea total en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

La escasa estratificación herbácea observada confirma el efecto de la distribución de las precipitaciones del año en que se realizó este estudio, ya que pese a ser un año de precipitación normal, la distribución de ésta evidencia una concentración de 231,7 mm en julio, que representa el 69% del total de la lluvia. Debido a las bajas temperaturas de ese mes y al considerable escurrimiento superficial por la intensidad de las lluvias y a la escasa cubierta vegetal de esta ladera, esta distribución significó un escaso aporte al crecimiento de la pradera natural (Olivares *et al.*, 1998).

#### Diversidad florística herbácea.

Se aprecia una pronunciada disminución de la diversidad florística de EE1 a EE2 y EE3 (Figura 8). El valor máximo de 12,5 de EE1 es estadísticamente superior a los valores observados en EE2 y EE3. La diversidad florística de la ladera de exposición ecuatorial se

correlaciona negativamente con el contenido de agua al momento del muestreo ( $r=-0,58^*$ ), lo que pareciera indicar que un menor contenido de agua en el suelo favorecería la germinación de un mayor número de especies. Sin embargo, la aparición de un mayor número de especies no determina una menor proporción de poáceas, especialmente de *Bromus berterianus* y *Vulpia dertonensis*, lo que no concuerda con lo expresado por Olivares y Gastó, citado por Hermosilla, 1991, quienes determinaron que dichas especies son más exigentes en condiciones de humedad y fertilidad de suelos.

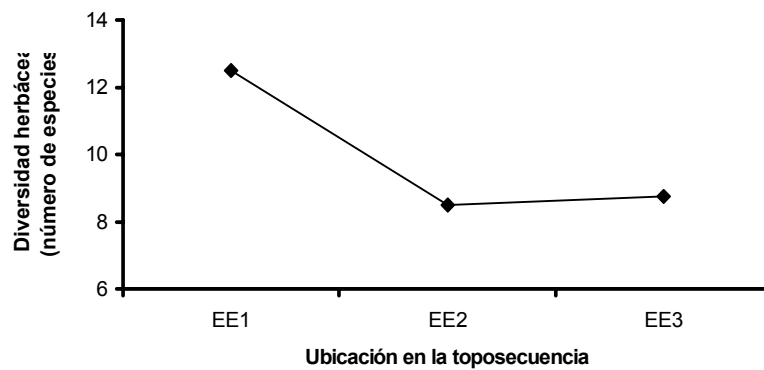


Figura 8. Variación de la diversidad florística herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

En la primera columna del Cuadro 3 se presenta el listado de todas de las especies observadas en la ladera de exposición ecuatorial, cuya diversidad total es 21.

Cuadro 3. Densidades herbáceas totales y específicas de la ladera de exposición ecuatorial en función de la ubicación en la toposecuencia.

Especies herbáceas	Densidad (Nº de individuos $\times$ m <sup>-2</sup> )			
	EE1	EE2	EE3	Densidad media
<i>Adesmia tenella</i>	29,59	-	4,08	11,22
<i>Amsinckia calycina</i>	51,02	46,43	63,78	53,74
<i>Baccharis paniculata</i> *	1,02	-	-	0,34
<i>Bromus berterianus</i>	537,24	27,55	118,37	227,72
<i>Calandrinia capitata</i>	0,51	43,88	14,29	19,56
<i>Calandrinia compressa</i>	6,63	1,53	6,63	4,93
<i>Camissonia dentata</i>	119,39	-	1,53	40,31
<i>Clarkia tenella</i>	3,06	-	-	1,02
<i>Dioscorea humifusa</i>	-	-	1,53	0,51
<i>Erodium cicutarium</i>	6,12	12,76	30,10	14,29
<i>Filago gallica</i>	25,00	-	17,86	14,29
<i>Gamochaeta sp.</i>	63,78	-	13,27	25,68
<i>Geranium core-core</i>	0,51	2,04	-	0,85
<i>Helenium aromaticum</i>	32,14	12,76	3,06	15,99
<i>Herniaria cinerea</i>	12,76	465,82	0,51	159,70
<i>Lophochloa cristata</i>	14,29	2,55	0,51	5,79
<i>Moscara pinnatifida</i>	-	0,51	-	0,17
<i>Oxalis micrantha</i>	37,76	-	-	12,59
<i>Pectocarya linearis</i>	33,67	106,63	70,92	70,41
<i>Senecio adenotrichius</i>	2,04	5,10	-	2,38
<i>Vulpia dertonensis</i>	218,88	31,63	123,47	124,66
Total	1.195,41	759,19	469,91	

\* Corresponde a plántulas de *Baccharis paniculata* por lo que para todos los análisis se considera herbácea.

### Densidades herbáceas total y específicas

Los valores de densidad herbácea total de la ladera de exposición ecuatorial se presentan en la Figura 9. Se observa una disminución progresiva desde EE1 a EE3, situación que está ligada al comportamiento de la cobertura herbácea total ( $r= 0,71^{**}$ ), de la diversidad herbácea ( $r= 0,76^{**}$ ) y del rendimiento herbáceo total ( $r= 0,76^{**}$ ).

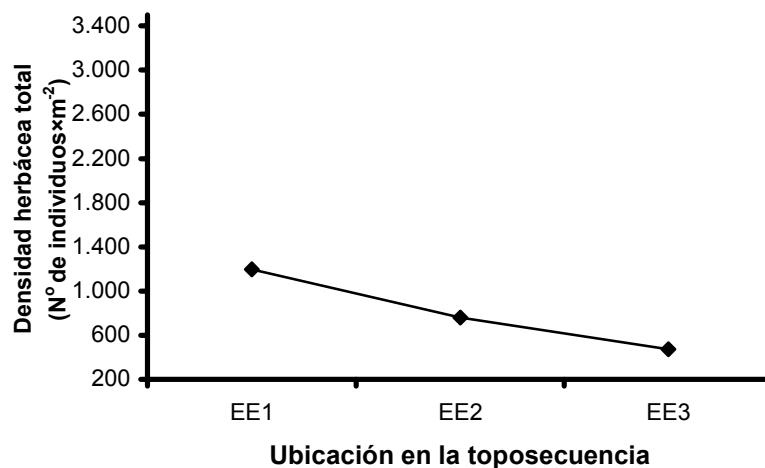


Figura 9. Variación de la densidad herbácea total en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

Como puede apreciarse en el Cuadro 3, las especies que presentan las mayores densidades medias son *Bromus berterianus*, *Herniaria cinerea* y *Vulpia dertonensis*. De estas tres cabe destacar a *Herniaria cinerea*, cuya densidad en EE2 es de 465 individuos por m<sup>2</sup>, mientras que en EE1 y EE3 sólo alcanza a 12,76 y 0,51, respectivamente.

### Rendimiento y composición botánica de la materia seca herbácea total

Como se puede constatar en la Figura 10, la ladera de exposición ecuatorial presenta valores de rendimiento de materia seca más altos en el tramo inferior que en los dos siguientes; sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas debido a la alta heterogeneidad entre las repeticiones de un mismo tratamiento (Apéndice 2, Cuadro 7).

El rendimiento de materia seca presenta correlaciones positivas con la diversidad florística total ( $r= 0,59^{**}$ ) y con la densidad herbácea total ( $r= 0,76^{**}$ ) y negativa con el suelo desnudo ( $r= -0,60^{**}$ ).

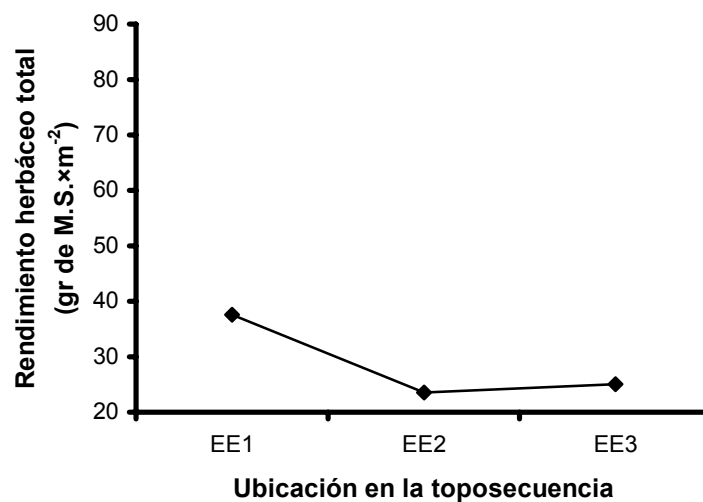


Figura 10. Variación del rendimiento de materia seca herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

El Cuadro 4 presenta los valores de los rendimientos específicos de materia seca de la exposición ecuatorial, así como la contribución de cada especie a la producción herbácea total o composición botánica.

Cuadro 4. Rendimientos totales y específicos de materia seca herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición ecuatorial.

Especies herbáceas	Rendimiento (gr×m <sup>-2</sup> )			Composición botánica (%)		
	EE1	EE2	EE3	EE1	EE2	EE3
<i>Adesmia tenella</i>	1,02	-	0,08	2,72	-	3,22
<i>Amsinckia calycina</i>	4,18	4,19	4,65	11,10	17,77	18,72
<i>Baccharis paniculata</i> *	0,03	-	-	0,08	-	-
<i>Bromus berterianus</i>	16,68	1,90	7,41	44,43	8,06	29,83
<i>Calandrinia capitata</i>	0,02	1,33	0,20	0,05	5,64	0,81
<i>Calandrinia compressa</i>	0,38	0,01	0,16	1,01	0,04	0,64
<i>Camissonia dentata</i>	0,67	-	0,01	1,78	-	0,04
<i>Clarkia tenella</i>	0,07	-	-	0,02	-	-
<i>Dioscorea humifusa</i>	-	-	0,03	-	-	0,12
<i>Erodium cicutarium</i>	0,45	0,90	5,29	1,19	3,82	21,30
<i>Filago gallica</i>	0,40	-	0,18	1,06	-	0,72
<i>Gamochaeta sp</i>	0,81	-	0,07	2,15	-	0,28
<i>Geranium core-core</i>	0,07	0,03	-	0,18	0,13	-
<i>Helenium aromaticum</i>	0,94	0,94	0,14	2,5	3,99	0,56
<i>Herniaria cinerea</i>	0,24	6,37	0,01	0,63	27,03	0,04
<i>Lophochloa cristata</i>	0,77	0,25	0,01	2,05	1,06	0,04
<i>Moscaria pinnatifida</i>	-	0,05	-	-	0,21	-
<i>Oxalis micrantha</i>	4,30	-	-	11,45	-	-
<i>Pectocarya linearis</i>	2,52	6,02	2,42	6,71	25,54	9,74
<i>Senecio adenotrichius</i>	0,64	0,65	-	1,70	2,76	-
<i>Vulpia dertonensis</i>	3,35	0,93	4,18	8,92	3,95	16,83
Total	37,54	23,57	24,84	100,00	100,00	100,00

\* Corresponde a plántulas de *Baccharis paniculata* por lo que para todos los análisis se considera herbácea.

Si se considera que una especie es dominante cuando contribuye con 10% o más de la materia seca total, en EE1 domina *Bromus berterianus*, y le siguen en importancia *Oxalis micrantha* y *Amsinckia calycina* cuyos porcentajes de contribución específicos son 44,43, 11,45 y 11,10%, respectivamente. En EE2 las especies dominantes son *Herniaria cinerea*, *Pectocarya linearis* y *Amsinckia calycina* con 27,03, 25,54 y 17,77%, respectivamente. Finalmente, en EE3 dominan *Bromus berterianus*, *Erodium cicutarium*, *Amsinckia calycina* y *Vulpia dertonensis* con 29,83, 21,30, 18,72 y 16,83%, respectivamente. De esta observación se desprende que *Bromus berterianus* es la principal responsable de la producción de esta ladera y que su contribución a la composición botánica aumenta a medida que aumenta el rendimiento.

#### Relaciones clima-suelo-vegetación en la ladera de exposición ecuatorial.

Las características climáticas y de relieve más destacadas de esta ladera son:

- a) Una alta incidencia de radiación solar producto de la orientación más perpendicular a los rayos solares y de una mayor cantidad de horas de exposición.
- b) Un relieve lineal con una pendiente longitudinal de 60% constante para todo el tramo de ladera donde se inserta la franja experimental.

El tipo de relieve que posee esta ladera favorece el arrastre de materiales del suelo desde EE3 hacia EE2 y EE1, ya sean éstos tierra fina (menor a 2 mm) o gravas de distintos tamaños. De hecho se constató un adelgazamiento progresivo de los suelos en función de la altura, 94 cm en EE1, 55 cm en EE2 y 48 cm en EE3, como también rasgos erosivos en EE3 que van desde erosión laminar a afloramientos rocosos de hasta 5 m.

La alta cantidad de radiación solar que recibe esta ladera está determinando el desarrollo de especies vegetales propias de ecosistemas xéricos. La vegetación se caracteriza por

presentar especies con adaptaciones para sobrevivir en condiciones de baja precipitación y altas tasas de evapotranspiración. De esta forma, las especies del estrato leñoso más representativas de esta ladera son los arbustos *Colliguaja odorifera*, *Proustia cuneifolia*, *Proustia ilicifolia* y la suculenta *Trichocereus chiloensis*, especies descritas solamente en esta exposición. Las principales características xerofíticas de estas especies son: escaso desarrollo individual en la primera, caducidad foliar estival en la segunda y tercera y el comportamiento CAM en la cuarta. El estrato herbáceo, a su vez, presenta especies de senescencia temprana, como son *Adesmia tenella*, *Camissonia dentata*. y *Calandrinia compressa*, y otras que, como consecuencia de la escasa disponibilidad de agua, en esta ladera alcanzan un menor desarrollo relativo como son *Vulpia dertonensis*, *Bromus berterianus* y *Herniaria cinerea*.

Una consecuencia del escaso desarrollo vegetal de esta ladera es la precaria protección que presenta el suelo contra los procesos de remoción y arrastre de materiales desde las partes más altas (Castillo *et al.*, 1997), lo que se acentúa, en gran medida, con la intervención antrópica.

Las propiedades del suelo que presentaron diferencia significativa, al comparar los niveles altitudinales, fueron el contenido de agua al momento del muestreo (Pw) y la retención de agua a 1500 kPa. (Apéndice 2, Cuadro 7). El contenido de agua al momento del muestreo es estadísticamente superior en EE3 con respecto a EE1 y EE2, mientras que la retención de agua a 1500 kPa es superior en EE3 a EE1. En ambos casos este comportamiento se explica en buena medida por el mayor contenido de arcilla del horizonte superficial que presenta EE3 (Kadmon *et al.*, 1989). Los coeficientes de correlación (r) obtenidos entre la arcilla y estas variables fueron 0,78\*\* con el contenido de agua al momento del muestreo y 0,68\*\* con la retención de agua a 1500 kPa. Esta situación corrobora los resultados de Vera *et al.* (1983), quienes trabajando en el secano costero de la IV región, determinaron que el agua aprovechable por las plantas se correlaciona principalmente con el contenido y clase de arcilla cuando la materia orgánica está en baja



cantidad, como consecuencia de la escasa depositación de mantillo y su baja tasa de humificación en los ecosistemas áridos y semiáridos (Zunino, 1986).

La arcilla, como resultado de su correlación con el contenido de agua, se convierte en un factor limitante del desarrollo vegetal en esta ladera, lo que pone de manifiesto la importancia de la clase textural en el comportamiento de las variables florístico-vegetacionales del estrato herbáceo, ya que se observa que, pese a que EE3 presenta algunas propiedades del suelo con valores inferiores a EE2 y EE1 como en el caso de la profundidad del perfil y contenido de materia orgánica, principalmente, las variables vegetacionales y florísticas totales, a excepción de la diversidad florística, no presentan diferencias significativas al comparar los niveles altitudinales, producto de la similitud en sus contenidos de arcilla.

La diferencia significativa observada entre los valores de diversidad florística herbácea al comparar los tres niveles altitudinales respondería a la correlación negativa que se da entre diversidad florística y contenido de agua (Apéndice 2, Cuadro 2). Los valores más altos de EE1 respecto de EE2 y EE3 reflejarían situaciones localizadas de mayores reservas de semillas, producto de la dispersión que hace el ganado y del arrastre de las mismas desde las partes más altas.

## Ladera de Exposición Polar

### Relieve y Suelo

En EP1, la franja experimental se inicia a los 607 msnm. La pendiente transversal es de 14,75% y la longitudinal es de 38%. La profundidad del suelo en la calicata es de 83 cm sobre el substrato rocoso. Los colores en seco van de pardo amarillento (10 YR 5/4) en el horizonte superficial a pardo rojizo (5 YR 3/3) en el horizonte más profundo, y en húmedo, varían desde pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/3) en superficie al pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3) en el más profundo. El suelo muestra un incremento gradual en el contenido de arcilla en profundidad, con clases texturales que van desde franco arenosa en superficie hasta arcillosa en el más profundo. El tipo de estructura es de bloques en los dos horizontes superiores y maciza en el más profundo. El suelo presenta una discontinuidad litológica constituida por una estrata de gravas redondeadas y facetadas entre los 44 y 53 cm de profundidad. En el horizonte 3C se describieron cutanes escasos. El suelo presenta 4 horizontes: A1, B, 2C, 3C.

En EP2, la franja se inicia a los 620 msnm. La pendiente transversal es de 9% y la longitudinal es de 38%. La profundidad del suelo en la calicata es de 40 cm sobre el substrato rocoso. Los colores van de pardo (10 YR 5/3) en seco a pardo oscuro (5 YR 3/3) en húmedo, en los dos horizontes superficiales. La clase textural de ambos horizontes es franco arenosa, pero el subsuperficial presenta un aumento en el contenido de gravas angulares. El tipo de estructura es de bloques. El suelo presenta 3 horizontes: A1, B, R.

En EP3, la franja se inicia a los 639 msnm. La pendiente transversal es de 19,50% y la longitudinal es de 44%. La profundidad del suelo en la calicata es de 43 cm sobre el substrato rocoso. Los colores van del pardo (10 YR 5/3 - 7.5 YR 5/4) en seco a pardo

oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo, en los dos horizontes superficiales. La clase textural es franco arenosa en el horizonte superficial y franco arcillo arenosa en el subsuperficial. El tipo de estructura es de bloques. El suelo presenta 3 horizontes: A1, B, 2C.

Se observa una profundidad relativamente similar del perfil en los suelos de EP2 y EP3 analizados, siendo la profundidad de EP1 mucho mayor. Se observa una distribución diferentes de los horizontes en el perfil, principalmente en los más profundos. La pendiente transversal presenta ligeras diferencias y la longitudinal cambia de 38% en EP1 a 44% en EP3. Tanto el tipo de estructura como la clase textural no evidencian cambios importantes al comparar los tres suelos, salvo en el horizonte más profundo de EP1 que presenta una clase textural arcillosa, correspondiendo al substrato del suelo Lo Vásquez.

La descripción completa de las tres calicatas se presenta en el Apéndice 1.

#### pH y materia orgánica

Los valores de pH y contenido de materia orgánica de la ladera de exposición polar presentan tendencias semejantes, con el valor más alto en EP1 y el más bajo en EP3 (Figura 11). El valor de pH de EP1 resultó ser estadísticamente superior (\*\*) al valor de EP3. En cambio, el contenido de materia orgánica no presentó diferencia significativa al comparar los tres niveles altitudinales.

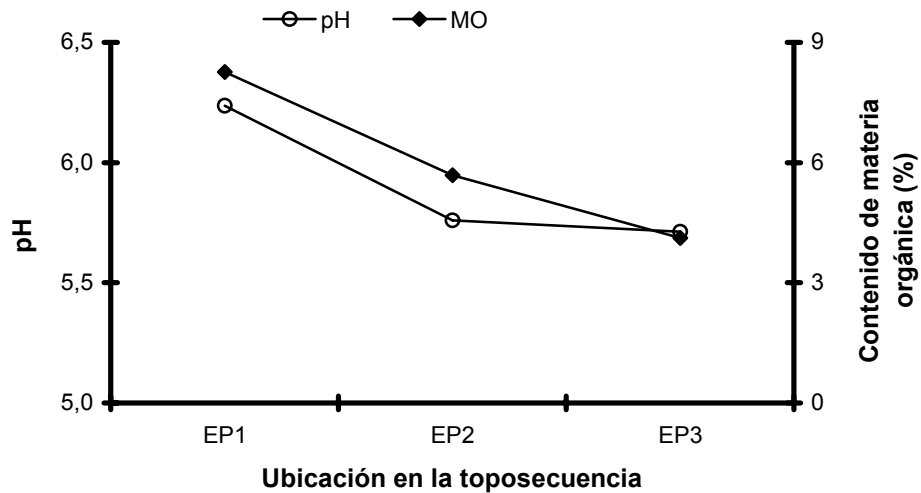


Figura 11. Variación del pH y del contenido de materia orgánica en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

El pH presenta en relación a la materia orgánica la misma tendencia, respondiendo este comportamiento tanto a la baja capacidad tampón de los suelos arenosos (Sadzawka, 1998) como a la variabilidad que presentan los ecosistemas naturales. De aquí que el pH no se considere como un buen indicador del desarrollo edáfico y vegetacional en esta ladera.

### Granulometría

La Figura 12 muestra la distribución de los separados texturales en el horizonte superficial, al comparar los tres niveles toposecuenciales de la ladera de exposición polar. Al igual que en la ladera de exposición ecuatorial, las diferencias son mínimas entre las tres situaciones para cada uno de los tres separados y en los tres tramos es mayor el porcentaje de arena (Apéndice 1).

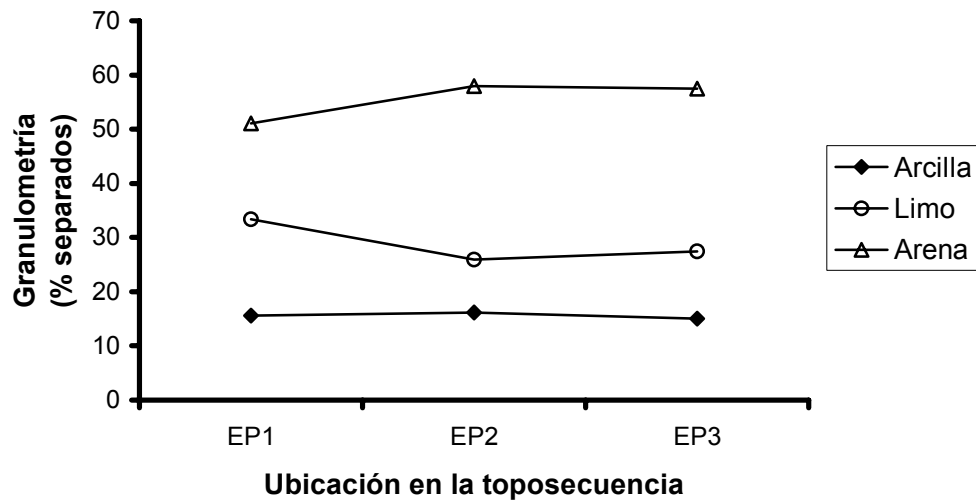


Figura 12. Variación de la granulometría en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

### Densidad aparente

La ladera de exposición polar presenta valores de densidad aparente similares al comparar las tres situaciones toposecuenciales (Figura 13). Estos valores no son estadísticamente diferentes entre sí y varían de  $1,42 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$  en EP2 a  $1,49 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$  en EP1.

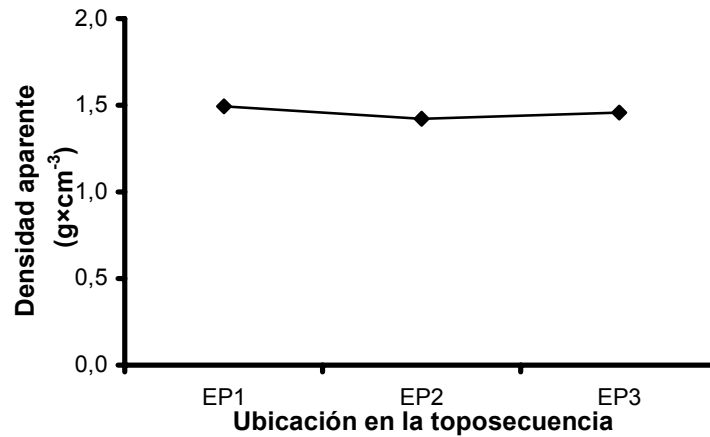


Figura 12. Variación de la densidad aparente en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

#### Contenido y retención de agua

La Figura 14 presenta los valores de contenido de agua al momento del muestreo ( $P_w$ ), y de retención de agua a 33 y 1500 kPa observados en la ladera de exposición polar. Las tres variables presentan diferencias significativas, siendo el valor de EP1 superior a los valores de EP2 y EP3 en el caso de las retenciones a 33 y 1500 kPa y superior únicamente a EP3 para  $P_w$ .

El comportamiento de estas tres variables en la ladera de exposición polar está fuertemente determinado por el contenido de materia orgánica. Los coeficientes de correlación observados entre esta última propiedad del suelo y  $P_w$ , 33 Kpa y 1500 kPa fueron 0,68\*\*, 0,62\*\* y 0,67\*\*, respectivamente.

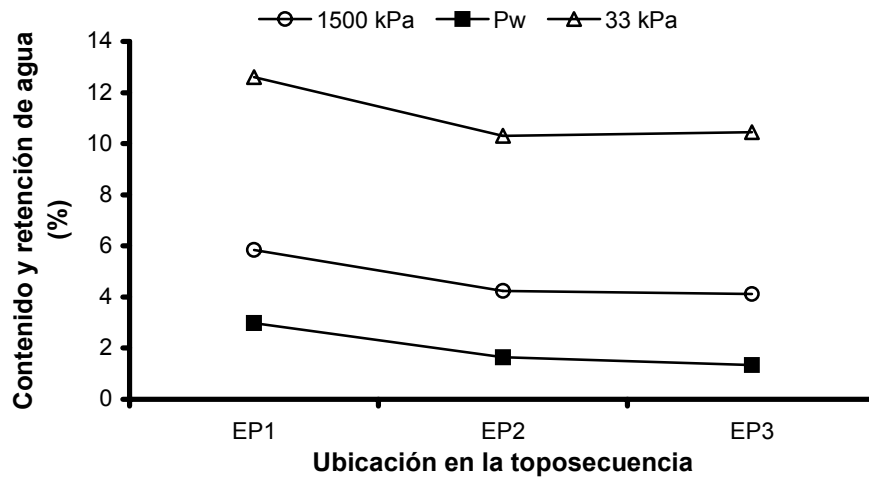


Figura 14. Variación del contenido de agua al momento del muestreo (Pw) y retención de agua a 33 y 1500 kPa en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

#### Suelo sin cobertura leñosa y coberturas leñosas total y específicas

De acuerdo con la información de Meza y Escobar, 2001, la ladera de exposición polar presenta el valor máximo de suelo sin cobertura leñosa y el mínimo de cobertura leñosa total en EP2. Los valores obtenidos, sin embargo, no observaron diferencias significativas para cada una de las dos variables. El mayor desarrollo del estrato leñoso se observó en EP1 (Figura 15). Esta situación es consecuencia de los mayores contenidos de agua y materia orgánica en el suelo, lo que permite un mayor arraigamiento y, a su vez, un mayor abastecimiento de agua y nutrientes a las especies leñosas.

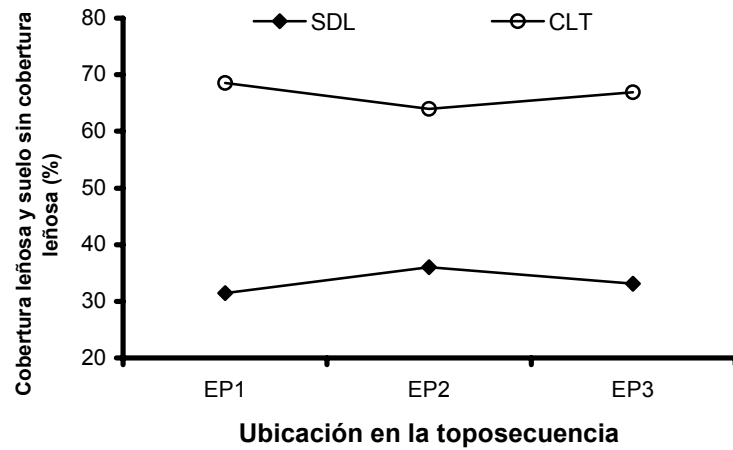


Figura 15. Variación de los porcentajes de cobertura leñosa total (CLT) y de suelo sin cobertura leñosa (SDL) en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar (adaptado de Meza y Escobar, 2001).

#### Coberturas leñosas específicas.

El Cuadro 5 muestra los porcentajes de cobertura específica de la ladera de exposición polar. La especie que presenta la mayor cobertura es *Solanum ligustrinum*. Le siguen en importancia especies de desarrollo arbóreo y arbustivo de mayor tamaño, como son *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica*, *Acacia caven* y *Porlieria chilensis*, las que requieren mayores contenidos de agua en el suelo para su establecimiento y desarrollo.



Cuadro 5. Variación de los porcentajes de coberturas leñosas específicas de la ladera de exposición polar en función de la ubicación en la toposecuencia (adaptado de Meza y Escobar, 2001).

Especies leñosas	Cobertura específica (%)		
	EP1	EP2	EP3
<i>Solanum ligustrinum</i>	34,12	34,23	33,54
<i>Quillaja saponaria</i>	13,66	8,92	8,73
<i>Acacia caven</i>	3,20	5,22	6,23
<i>Porlieria chilensis</i>	2,19	3,88	1,46
<i>Lithraea caustica</i>	2,84	0,85	-
<i>Proustia reticulata</i>	-	0,39	3,15
<i>Eupatorium salvia</i>	1,43	0,59	0,55
<i>Cryptocarya alba</i>	0,11	1,30	0,61
<i>Trevoa trinervis</i>	0,85	0,66	0,62
<i>Ophryosporus paradoxus</i>	0,47	1,50	-
<i>Kageneckia oblonga</i>	0,06	1,25	0,57
<i>Puya berteroniana</i>	0,70	-	0,10
<i>Flourensia thurifera</i>	-	-	0,05

Se observa también una distribución relativamente homogénea en cuanto a la presencia de las especies en los tres tramos toposecuenciales en función de la ubicación en la pendiente, si bien hay diferencias notables a nivel específico.

La principal diferencia está dada por los porcentajes de coberturas que presentan las especies en función de la altura. Especies como *Solanum ligustrinum*, y *Trevoa trinervis*, presentan coberturas similares en los tres tramos altitudinales, mientras que otras como *Lithraea caustica* y *Eupatorium salvia* disminuyen su cobertura con la altura. Algunas especies aparecen sólo en determinados niveles altitudinales. *Lithraea caustica* y *Ophryosporus paradoxus* se ubican en EP1 y EP2, exclusivamente, mientras que *Proustia*

*reticulata* lo hace en EP2 y EP3 y *Puya berteroniana* en EP1 y EP3. *Flourensia thurifera* fue la única especie descrita en un solo tramo altitudinal.

### Cobertura herbácea total y suelo desnudo

La Figura 16 no evidencia grandes diferencias en ambas variables, al comparar los tres niveles altitudinales. El valor más alto de cobertura herbácea total y, por ende, el mínimo de suelo desnudo se presenta en EP2, valores que, sin embargo, no alcanzan a ser estadísticamente superiores al compararlos con los valores de niveles extremos, los que son similares entre sí.

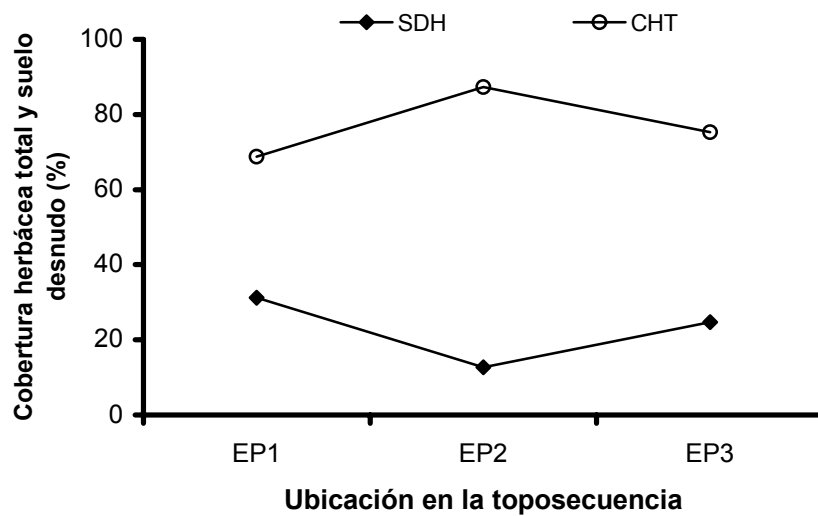


Figura 16. Variación de la cobertura herbácea total y del suelo desnudo en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar

Coberturas herbáceas específicas, contribuciones específicas de presencia y contacto y composición del suelo desnudo.

A excepción de EP1, donde *Conium maculatum* presenta los mayores índices para las tres primeras variables, en general, se observan supremacía de las especies poáceas. En EP1 las especies más importantes son, junto a *Conium maculatum*, *Vulpia dertonensis* y *Bromus berterianus*. En EP2 son *Aira cariophyllea*, *Vulpia dertonensis* y *Bromus berterianus*, y en EP3 *Bromus berterianus*, *Vulpia dertonensis* y *Erodium cicutarium*.

En EP1, del total del porcentaje de suelo desnudo, 9,52% es piedra, 23,02% es material fino y 66,67% corresponde a mantillo. En EP2, 11,76% corresponde a piedra, 45,10% a material fino y 43,14% a mantillo. En EP3, 16,30% es piedra, 17,39% es material fino y 66,30% es mantillo.

El listado con los datos de estas variables para la ladera de exposición polar se detalla en los Cuadros 4, 5 y 6 del Apéndice 3.

Estratificación herbácea

En la Figura 17 se confirma un aumento de la estratificación en el tramo medio (EP2), mientras que los tramos bajo y alto (EP1 y EP3) presentan valores similares. Esta tendencia es similar a la observada en la cobertura herbácea total y se correlaciona positivamente con la diversidad florística herbácea ( $r= 0,58^*$ ).

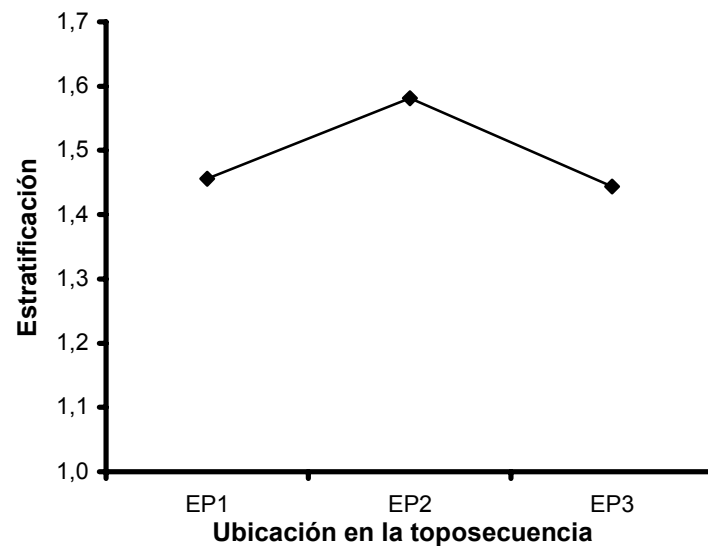


Figura 17. Variación de la estratificación herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

#### Diversidad florística herbácea

La ladera de exposición polar presenta valores de diversidad florística ligeramente mayores en la medida que aumenta la altura (Figura 18), sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas, dada la alta variabilidad observada entre las repeticiones. La diversidad florística en esta ladera aparece correlacionada negativamente a las tres variables hídricas ( $r = -0,79^{**}$  con  $P_w$ ,  $-0,68^{**}$  con 33 kPa y  $-0,62^*$  con 1500 kPa).

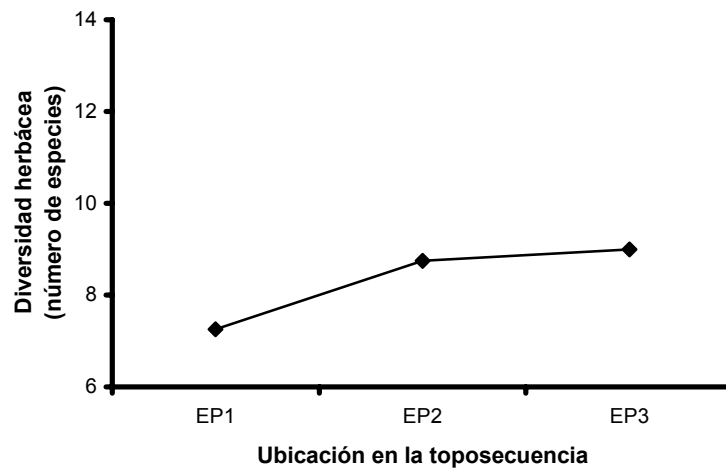


Figura 18. Variación de la diversidad florística herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

En la primera columna del Cuadro 6 se detalla el listado de las 26 especies presentes en la ladera de exposición polar.

#### Densidades herbáceas total y específicas

Como se aprecia en la Figura 19, el valor máximo de la densidad herbácea total se presentó en EP2 y el mínimo en EP3. Este comportamiento está correlacionado positivamente a otras variables del estrato herbáceo, tales como cobertura herbácea total, estratificación herbácea total y diversidad florística herbácea ( $r= 0,62^*$ ,  $0,58^*$  y  $0,65^*$ , respectivamente) y en forma negativa con el porcentaje de suelo desnudo ( $r= -0,65^*$ ).

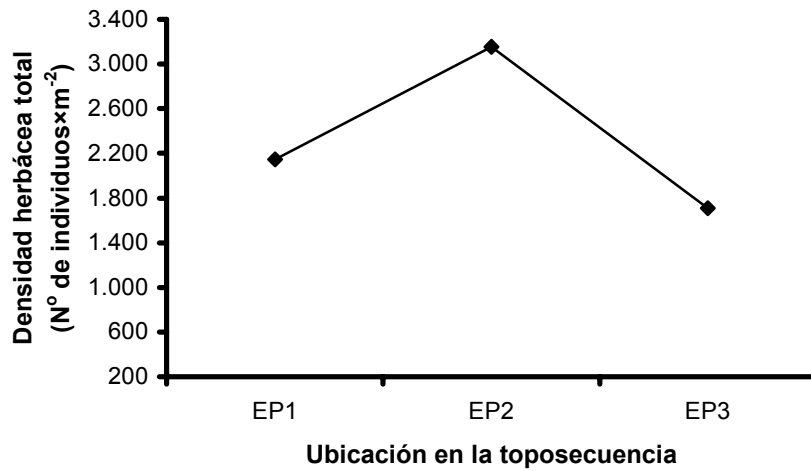


Figura 19. Variación de la densidad herbácea total en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

Las tres especies que presentan las mayores densidades medias son las poáceas: *Vulpia dertonensis*, *Aira caryophylla* y *Bromus berterianus* y la onagrácea *Clarkia tenella* (Cuadro 6), lo que pone en evidencia el dominio de las terófitas póaceas, producto de su ciclo fenológico y su capacidad para utilizar en forma más eficiente las mejores condiciones de humedad y fertilidad que presenta esta ladera (Stehr, 1982).

Cuadro 6. Densidades herbáceas totales y específicas de la ladera de exposición polar en función de la ubicación en la toposecuencia.

Especies herbáceas	Densidad (N° de individuos×m <sup>-2</sup> )			
	EP1	EP2	EP3	Densidad media
<i>Adiantum glanduliferum</i>	3,57	-	-	1,19
<i>Aira caryophyllea</i>	11,73	1.895,92	50,51	652,72
<i>Amsinckia hispida</i>	2,55	-	3,06	1,87
<i>Amsinckia calycina</i>	-	-	0,51	0,17
<i>Anthriscus caucalis</i>	40,31	7,65	5,10	17,69
<i>Bromus berterianus</i>	666,84	238,78	587,76	497,79
<i>Calandrinia compressa</i>	4,59	-	-	1,53
<i>Camissonia dentata</i>	-	2,55	-	0,85
<i>Cerastium vulgatum</i>	8,67	-	1,53	3,40
<i>Clarkia tenella</i>	160,20	44,39	61,73	88,77
<i>Conium maculatum</i>	52,04	-	-	17,34
<i>Dioscorea bryoniifolia</i>	24,49	-	-	8,16
<i>Dioscorea humifusa</i>	-	-	1,02	0,34
<i>Erodium cicutarium</i>	17,35	0,51	-	5,95
<i>Erodium malacoides</i>	4,59	-	3,57	2,72
<i>Faselis retusa</i>	55,10	126,53	10,71	64,11
<i>Filago gallica</i>	3,06	12,76	57,65	24,49
<i>Helenium aromaticum</i>	-	-	2,55	0,85
<i>Herniaria cinerea</i>	-	0,51	-	0,17
<i>Leucheria tomentosa</i>	73,47	57,65	75,51	68,88
<i>Loasa pallida</i>	0,51	-	-	0,17
<i>Lophochloa cristata</i>	-	10,71	1,02	3,91
<i>Pasithea coerulea</i>	-	1,02	2,55	1,19
<i>Pectocarya linearis</i>	2,04	3,57	-	1,87
<i>Plantago tumida</i>	0,51	10,20	-	3,57
<i>Vulpia dertonensis</i>	1.022,96	739,80	846,43	869,73
Total	2.154,58	3.152,55	1.711,21	-

Rendimiento y composición botánica de la materia seca herbácea total

En la Figura 20 se observa una disminución de los rendimientos de materia seca herbácea en función de la ubicación en la toposecuencia. Estos valores, sin embargo, no presentan diferencia significativa, debido a la elevada variabilidad observada entre las repeticiones del mismo tratamiento.

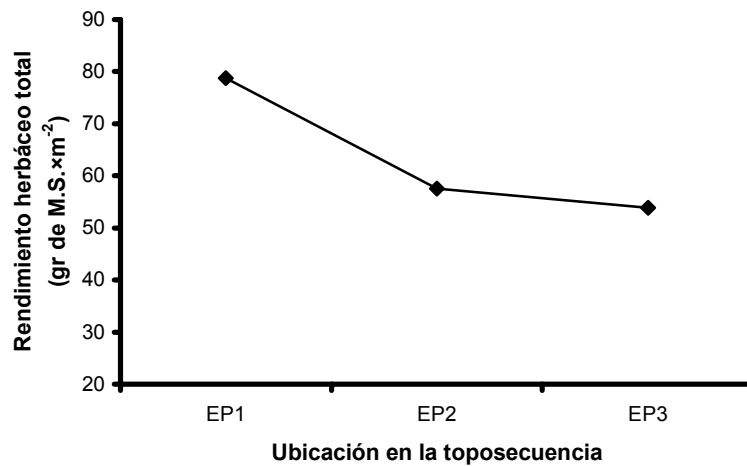


Figura 20. Variación del rendimiento de materia seca herbácea total en función de la ubicación en la toposecuencia de la ladera de exposición polar.

El Cuadro 7 presenta los rendimientos específicos de materia seca herbácea y sus participaciones en la composición botánica en la ladera de exposición polar. De éstas, *Vulpia dertonensis*, *Conium maculatum* y *Bromus berterianus* son las que presentan los mayores valores. Cabe destacar que si bien *Conium maculatum* y *Leucheria tomentosa* presentan escasas densidades, evidencian altos valores de rendimiento de materia seca como consecuencia de sus mayores fitomasas individuales.



Cuadro 7. Rendimientos totales y específicos de materia seca herbácea y composición botánica de la ladera de exposición polar.

Especies herbáceas	Rendimiento (gr×m <sup>-2</sup> )			Composición botánica (%)		
	EP1	EP2	EP3	EP1	EP2	EP3
<i>Adiantum gladuliferum</i>	0,14	-	-	0,17	-	-
<i>Aira caryophyllea</i>	0,11	18,49	0,72	0,14	32,14	1,33
<i>Amsinckia hispida</i>	2,66	-	0,38	3,32	-	0,70
<i>Amsinckia calycina</i>	-	-	0,03	-	-	0,06
<i>Anthriscus caucalis</i>	4,62	0,47	0,39	5,76	0,81	0,72
<i>Bromus berterianus</i>	14,93	4,72	23,97	18,62	8,20	44,40
<i>Calandrinia compressa</i>	0,07	-	-	0,09	-	-
<i>Camissonia dentata</i>	-	0,08	-	-	0,13	-
<i>Cerastium vulgatum</i>	0,20	-	0,02	0,25	-	0,04
<i>Clarkia tenella</i>	2,47	2,69	1,84	3,08	4,68	3,41
<i>Conium maculatum</i>	22,57	-	-	28,16	-	-
<i>Dioscorea bryoniifolia</i>	0,60	-	-	0,75	-	-
<i>Dioscorea humifusa</i>	-	-	0,10	-	-	0,19
<i>Erodium cicutarium</i>	1,57	0,02	-	1,96	0,03	-
<i>Erodium malacoides</i>	1,35	-	0,42	1,68	-	0,78
<i>Faselis retusa</i>	0,59	2,92	0,15	0,74	5,08	0,28
<i>Filago gallica</i>	0,07	0,15	0,76	0,09	0,26	1,41
<i>Helenium aromaticum</i>	-	-	0,07	-	-	0,13
<i>Herniaria cinerea</i>	-	0,02	-	-	0,03	-
<i>Leucheria tomentosa</i>	4,91	2,17	4,45	6,13	3,77	8,24
<i>Loasa pallida</i>	0,20	-	-	0,25	-	-
<i>Lophochloa cristata</i>	-	0,03	0,01	-	0,05	0,02
<i>Pasithea coerulea</i>	-	0,05	0,14	-	0,09	0,26
<i>Pectocarya linearis</i>	0,04	0,04	-	0,05	0,07	-
<i>Plantago tumida</i>	0,03	0,14	-	0,04	0,24	-
<i>Vulpia dertonensis</i>	23,03	25,54	20,40	28,73	44,39	37,78
Total	80,16	57,53	53,99	100,00	100,00	100,00

De acuerdo con los porcentajes de contribución específica a la producción de materia seca total presentados en el Cuadro 7, en EP1 dominan *Vulpia dertonensis*, *Conium maculatum*, y *Bromus berterianus* (Porcentajes de contribución específicos: 23,03, 22,57 y 14,93%, respectivamente), mientras que en EP2 lo hacen *Vulpia dertonensis* y *Aira caryophyllea*. (44,39 y 32,12%) y en EP3 *Bromus berterianus* y *Vulpia dertonensis* (44,40 y 37,78%).

#### Relaciones clima-suelo-vegetación en la ladera de exposición polar

Las características climáticas y de relieve más destacadas de esta ladera son:

- c) Una incidencia de radiación solar moderada producto de la exposición más tangencial a los rayos solares.
- d) Un relieve cóncavo con un quiebre en la pendiente en EP2.

La menor cantidad de radiación solar que esta ladera recibe, permite que ésta retenga una mayor cantidad de agua como consecuencia de una menor tasa de evaporación. Esta condición, sumada a un leve efecto del relieve sobre la disminución del escurrimiento superficial y arrastre de materiales, permite la producción de una fitomasa más mésica y abundante, de origen tanto leñoso como herbáceo (Silva *et al.*, 1987). Es así como en esta ladera se encuentran esclerófilas arbóreas de mayor desarrollo vegetativo, con sistemas radicales más profundos, como ocurre en *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*. Por su parte, el desarrollo del estrato herbáceo se ve favorecido por el mayor sombreado que proviene del dosel de las especies leñosas. De esta manera, es posible encontrar en esta ladera, y principalmente en EP1, terófitas tan exigentes en humedad y fertilidad como son *Conium maculatum* y *Loasa pallida*, especialmente en los transectos más occidentales.

La mayor densidad de especies leñosas en dichos tramos y la aparición de especies herbáceas más mesófitas con mayor desarrollo individual está afectando los promedios de las variables relacionadas con las densidades total y específica y la diversidad florística.

A pesar de que esta ladera presenta en toda su extensión una mayor diversidad florística, la dominancia de terófitas poáceas, expresada a través de la variable rendimiento de materia seca, es mucho más marcada que en la ladera de exposición ecuatorial. De esta manera, *Vulpia dertonensis*, *Bromus berterianus* y *Aira caryophyllea* son las especies que presentan mayores rendimientos específicos (Cuadro 7).

Las propiedades del suelo que presentaron diferencia significativa al comparar los niveles altitudinales fueron el contenido de agua al momento del muestreo (Pw), la retención a 33 kPa y la retención a 1500 kPa. Los valores de Pw de EP1 son superiores a los de EP3, mientras que los valores de retención a 33 y 1500 kPa de EP1 son superiores a EP2 y EP3 (Anexo 2, Cuadro 7). Estas diferencias se explican por el decreciente contenido de materia orgánica en función de la altura. La depositación de la materia orgánica estaría principalmente determinada por la acumulación de hojas, tallos y las raíces más superficiales de la pradera anual, presentándose baja humificación en profundidad (Ruiz, 1989; Janh *et al.*, 1989; Lavelle, 2000). Es importante destacar que el contenido de materia orgánica de EP1 (8,26%) duplica al de EP3 (4,12%).

Producto de la relativa homogeneidad de las características del suelo y, especialmente, de los altos valores de retención de agua a 33 kPa y 1500 kPa, no se observó diferencias significativas en ninguna de las variables florístico-vegetacionales consideradas.

Otra propiedad del suelo que presentó diferencia significativa entre niveles altitudinales en esta ladera es el pH, variable que sin embargo manifestó un comportamiento errático al correlacionarlo con la materia orgánica. Debido a esto, los índices de pH, para este estudio, no son buenos indicadores de las diferencias de desarrollo de suelo y vegetación.

Diferencias edáficas y florístico-vegetacionales entre la ladera de exposición ecuatorial y la de exposición polar

Bajo las condiciones climáticas imperantes, la ladera de exposición ecuatorial, o solana, presenta un mayor grado de aridez respecto de la ladera de exposición polar, o umbría (Figuras 21 y 22), debido a la diferencia en la cantidad de radiación solar que recibe cada una de las laderas. De las variables climáticas, esta última es la que representa el principal factor de diferenciación en la fitocenosis de laderas opuestas (Montecinos, 1982).

Otra diferencia importante la constituye la forma del relieve que presentan ambas laderas (Hole y Cambell, 1985). Mientras que en la ladera de exposición ecuatorial la pendiente presenta una gradiente constante de 60% en toda la franja de estudio, la de exposición polar tiene una configuración cóncava con un quiebre deprimido en EE2, disminuyendo de 44% en EE3 a 38% en EE1. Este factor, sin embargo, no es suficiente para afectar la distribución de la profundidad de los suelos, ya que en general, esta no experimenta grandes diferencias al comparar ambas laderas en función de la altura en la pendiente. Si bien se observan diferencias en algunas propiedades del suelo como son la mayor uniformidad en la profundidad del suelo en los tramos medio y alto y la distribución de los separados texturales, es en el desarrollo vegetacional, al comparar ambas laderas, donde se acentúan las diferencias producidas por la exposición a los rayos solares y, en menor medida, por el relieve. Todas las variables del estrato herbáceo consideradas presentan diferencias significativas, con excepción de la diversidad florística en términos del número de especies, si bien las especies presentes suelen ser distintas y la diversidad herbácea total es mayor en la ladera de exposición polar (26 especies) con respecto a la exposición ecuatorial (21 especies). En el caso del estrato leñoso, Meza y Escobar (2001), encontraron que la cobertura leñosa total y, en consecuencia, el porcentaje de suelo sin cobertura leñosa también presentaban diferencias significativas. El comportamiento observado en las propiedades del suelo y de las variables florístico-vegetacionales reflejan un mayor dinamismo de la vegetación



Figura 21. Vista del tramo de la ladera de exposición ecuatorial analizado.



Figura 22. Vista del tramo de la ladera de exposición polar analizado.

en comparación con el suelo desarrollados en condiciones pluviométricas idénticas, pero expuestos a una mayor radiación solar (Sepúlveda, 1999).

Las variables del suelo que presentaron diferencias significativas, al comparar ambas laderas, fueron la retención de agua a 33 kPa y los contenidos de limo y de arena. Los mayores contenidos de limo y de materia orgánica de la ladera de exposición polar estarían determinando, en distintos grados, su mayor retención de agua, ya que de acuerdo a Vera *et al.* (1983) estos dos son los factores más determinantes en la distinta capacidad de retención de humedad de los horizontes superficiales, puesto que el contenido de arcilla es similar en ambas exposiciones.

Otra variable que está contribuyendo a diferenciar el desarrollo edáfico y florístico-vegetacional entre laderas es la cobertura vegetal, factor del que depende, en gran medida, la estabilidad del ecosistema (Cerdeira, 1999; Khomutova *et al.*, 2000). Mientras la mayor cobertura vegetal que presenta la ladera de exposición polar reduce el impacto de la lluvia, así como la velocidad y tasa del escurrimiento superficial, la escasa cobertura de la ladera de exposición ecuatorial favorece la remoción y arrastre de materiales desde las partes más altas. Junto con la pendiente más pronunciada, ello explicaría la mayor remoción de la fracción arena en el horizonte superficial de la exposición ecuatorial como consecuencia de la erosión hídrica (Scott, 1998), evidenciada a través de una capa de acumulación superficial. Esta situación se relaciona además con el porcentaje y tipo de suelo desnudo que se presenta en las dos laderas. El porcentaje de suelo desnudo es estadísticamente superior en la ladera de exposición ecuatorial donde está conformado en su mayor proporción por piedras y material fino, mientras que en la ladera de exposición polar está constituido, en su mayor parte, por depositación de mantillo vegetal, el que también contribuye a disminuir los efectos erosivos de la lluvia. Mientras que en la ladera de exposición ecuatorial 24,45% del suelo desnudo está cubierto con mantillo, en la ladera de exposición polar su cobertura asciende a 58,70% (Apéndice 3, Cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Otro factor que contribuye a la diferenciación, tanto en el desarrollo vegetacional como en la destrucción del horizonte superficial, es la distribución de las precipitaciones. Este factor se considera determinante en la capacidad productiva de las praderas naturales (Olivares *et al.*, 1998). En el año 2001, en que se realizaron las observaciones de terreno, 70% de la precipitación anual ocurrió en julio, lo que originó como consecuencia de la alta concentración en ese mes un mayor escurrimiento superficial, principalmente en la ladera de exposición ecuatorial con menor cobertura vegetal y mayor pendiente. Por otra parte, se evidenció una disminución en los rendimientos de la pradera natural en ambas exposiciones debido a las bajas temperaturas de esa época del año.

Las variables del estrato herbáceo que presentan diferencias significativas, al comparar las laderas son: la cobertura herbácea total, la estratificación, la densidad y el rendimiento de materia seca. En todos los casos sus valores son mayores en la ladera de exposición polar como consecuencia de sus condiciones más favorables para el desarrollo de la fitocenosis. Esta situación refleja la mejor condición de pradera de la ladera de exposición polar, lo que se atribuye principalmente a su mayor capacidad de retención de agua, como consecuencia de la menor cantidad de radiación solar recibida (Hunckler y Schaetzl, 1997), de su pendiente menos pronunciada y del mayor contenido de materia orgánica de su suelo (Wringht *et al.*, 1999). A ello debe agregarse el efecto de retroalimentación que la mayor fitomasa ejerce sobre el contenido de materia orgánica del suelo, además del aporte de N adicional que hacen especies como *Acacia caven* y *Trevoa trinervis*, a través de sus simbiosis con *Rizobium* y *Frankia*, respectivamente. Las asociaciones que desarrollan estas especies tienen una gran importancia ecológica, ya que son determinantes en el desarrollo sucesional de la fitocenosis de suelos pobres en nitrógeno (Dawson y Akkermans *et al.*, citados por Cabello *et al.*, 2003).

Si bien es cierto, que existen especies que dominan en determinados tramos altitudinales, como son *Amsinckia calycina*, *Oxalis micrantha*, *Herniaria cinerea* y *Erodium cicutarium* en la exposición ecuatorial y *Conium maculatum*, y *Aira caryophyllea* en la exposición polar, las especies herbáceas dominantes más importantes son *Vulpia*

*dertonensis* y *Bromus berterianus*, ambas indicadoras de una buena condición de pradera (Olivares y Gastó, citados por Hermosilla, 1991), las que además presentan una gran capacidad germinativa (Contreras, 1997). Sumado a lo anterior, es importante destacar que la dominancia de dichas especies herbáceas está determinada, en cierta medida, por el momento en que se realizó el muestreo, ya que, en general, las poáceas terófitas alcanzan su madurez después que otras especies importantes de la pradera, como es el caso de las del género *Erodium*, lo que agregado a su mayor contenido de fibra les permite permanecer por más tiempo en pie (Segarra, 1980).

Otra característica inherente a la exposición es la existencia de especies del estrato herbáceo exclusivas de cada ladera. Considerando, tanto la diversidad florística determinada con el cuadrante de muestreo de densidad y rendimiento (Cuadro 3 y 6), como aquella detectada con el método *Point Quadrat* (Apéndice 3, Cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6), las especies descritas únicamente en la ladera de exposición ecuatorial son: *Adesmia tenella*, *Calandrinia capitata*, *Gamochaeta sp.*, *Geranium core-core*, *Moschardia pinnatifida*, *Oxalis micrantha*, *Senecio adenotrichius*, *Aristolochia chilensis*, *Alstroemeria pulchra*. y *Erodium moschatum*, mientras que las que se observaron sólo en la ladera de exposición polar son: *Adiantum glanduliferum*, *Aira caryophyllea*, *Amsinckia hispida*, *Anthriscus caucalis*, *Cerastium vulgatum*, *Conium maculatum*, *Dioscorea bryoniifolia*, *Erodium malacoides*, *Faselis retusa*, *Leucheria tomentosa*, *Loasa pallida*, *Pasithea coerulea* y *Plantago tumida*. En consideración a que estas últimas observaciones provienen solamente de la franja experimental, no significa que esas especies sean exclusivas de cada ladera, aun cuando pueden ser características (preferentes o selectivas) de cada caso (Lailhacar, 2004).

Las diferencias edafoclimáticas propias de cada ladera también favorecen el desarrollo de un estrato leñoso distinto, en términos tanto vegetacionales como florísticos. Mientras que en la ladera de exposición ecuatorial el estrato leñoso está dominado por especies arbustivas, con una menor fitomasa individual, tanto epígea como hipógea, la ladera de exposición polar presenta una mayor proporción de especies esclerófilas de desarrollo arbóreo con sistemas radicales más profundos (Fuentes, 1988). A su vez, la mayor



cobertura leñosa influye sobre las condiciones del estrato herbáceo (Cornejo y Gándara, 1980; Torres, 1999), por reducción de la evapotranspiración, protección de los extremos térmicos y mejoramiento de las condiciones del suelo. Las especies herbáceas expuestas a sombreado alcanzan mayores rendimientos producto de una mayor tasa de crecimiento y del alargamiento de sus ciclo, como consecuencia de una senescencia más tardía (Castillo *et al.*, 1990).

## VARIABLES FLORÍSTICAS Y VEGETACIONALES GENERALES

### Índice de sociabilidad de las especies del estrato leñoso

Meza y Escobar (2001) determinaron que los índices de sociabilidad más elevados que observaron en especies leñosas, ocurren en *Trevoa trinervis* con 10,46, *Flourensia thurifera* con 6,31, *Lithraea caustica* con 4,22 y *Colliguaja odorifera* con 3,21.

El alto índice obtenido en *Colliguaja odorifera* se explican por sus altas densidades en la ladera de exposición ecuatorial y su ausencia en la ladera de exposición polar. La misma explicación es válida en el caso de *Lithraea caustica*, especie que sólo aparece en la ladera de exposición polar. En el caso de *Flourensia thurifera* y de *Trevoa trinervis*, preferentemente asociadas a la exposición ecuatorial y polar, respectivamente, se observa también un efecto de la toposecuencia.

### Grado de asociación y disociación entre las especies del estrato leñoso

El Cuadro 8 resume la información proveniente de Meza y Escobar (2001) al analizar el grado de asociación de los pares de especies del estrato leñoso.

Cuadro 8. Grado de Asociación entre pares de especies del estrato leñoso (nivel de significancia del 95%)\* (Extraído de Meza y Escobar, 2001).

	<i>Acacia caven</i>	<i>Baccharis paniculata</i>	<i>Colliguaja odorifera</i>	<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Eupatorium salvia</i>	<i>Flourensia thurifera</i>	<i>Kageneckia oblonga</i>	<i>Lithraea caustica</i>	<i>Ophryosporus paradoxus</i>	<i>Podanthus mitiqui</i>	<i>Porlieria chilensis</i>	<i>Proustia cuneifolia</i>	<i>Proustia ilicifolia</i>	<i>Puya berteroniana</i>	<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Solanum ligustrinum</i>	<i>Trevoa trinervis</i>	<i>Trichocereus chiloensis</i>
<i>Acacia caven</i>																		
<i>Baccharis paniculata</i>																		
<i>Colliguaja odorifera</i>							D										D	
<i>Cryptocarya alba</i>					A		A	A										
<i>Eupatorium salvia</i>																		
<i>Flourensia thurifera</i>									D					D				
<i>Kageneckia oblonga</i>								A										A
<i>Lithraea caustica</i>										D	D			D				A
<i>Ophryosporus paradoxus</i>												D						D
<i>Podanthus mitiqui</i>														D	D	D	D	
<i>Porlieria chilensis</i>																		
<i>Proustia cuneifolia</i>																		D
<i>Proustia ilicifolia</i>																		
<i>Puya berteroniana</i>																	D	A
<i>Quillaja saponaria</i>																	A	
<i>Solanum ligustrinum</i>																		
<i>Trevoa trinervis</i>																		
<i>Trichocereus chiloensis</i>																		

\*Mientras que la letra A indica asociación, la D indica disociación entre pares de especies.

Como era predecible, se observa asociación entre pares de especies pertenecientes a condiciones edafoclimáticas similares y disociación entre las adaptadas a condiciones más contrastadas. De esta manera, *Podanthus mitiqui*, *Puya berteroniana* y *Trichocereus chiloensis*, especies adaptadas a condiciones más xéricas, se asocian en la ladera de

exposición ecuatorial, mientras que *Kageneckia oblonga*, *Lithraea caustica* y *Trevoa trinervis*, especies de comportamiento más méxico lo hacen en la ladera de exposición polar. Sin embargo, se observó disociación entre *Puya berteroniana* y *Flourensia thurifera*, resultado que se atribuye al error experimental provocado por la alta heterogeneidad del terreno, lo que suele ocurrir en ecosistemas naturales de relieve accidentado.

#### Índice de sociabilidad en las especies del estrato herbáceo.

Los índices de sociabilidad de todas las especies herbáceas presentes en el área de estudio se detallan en el Cuadro 9. Las especies que presentan los índices más altos son: *Aira caryophyllea*, *Vulpia dertonensis*, *Bromus berterianus* y *Herniaria cinerea*. Estos resultados están indicando un alto grado de gregarismo intraespecífico lo que, en cierta medida, sirve de indicador de las condiciones climáticas y edáficas del sitio. Cabe destacar a *Aira caryophyllea* que presenta el mayor índice de sociabilidad y que sólo se encuentra en la ladera de exposición polar, situación que sugiere que esta especie necesita un mayor contenido de humedad en el suelo y posiblemente se adapta mejor a condiciones de menor radiación solar. A esto se suma el efecto que tiene el desarrollo fenológico de la pradera, en el cual las poáceas presentan un ciclo activo más prolongado, alcanzando mayores alturas de planta y una senescencia más tardía (Segarra, 1980; Olivares, 1996).

Cuadro 9. Índice de sociabilidad del estrato herbáceo.

Especies herbáceas	Densidad específica media	Frecuencia específica	Índice de sociabilidad
<i>Aira caryophylla</i>	326,36	0,33	979,08
<i>Vulpia dertonensis</i>	497,19	0,88	568,22
<i>Bromus berterianus</i>	362,76	1,00	362,76
<i>Herniaria cinerea</i>	79,93	0,29	274,05
<i>Conium maculatum</i>	8,67	0,08	104,08
<i>Leucheria tomentosa</i>	34,44	0,33	103,32
<i>Dioscorea bryoniifolia</i>	4,08	0,04	97,96
<i>Clarkia tenella</i>	44,90	0,50	89,80
<i>Faselis retusa</i>	32,06	0,38	85,49
<i>Camissonia dentata</i>	20,58	0,25	82,31
<i>Gamochoeta sp.</i>	12,84	0,17	77,04
<i>Pectocarya linearis</i>	35,54	0,50	66,72
<i>Anthriscus scandicina</i>	8,84	0,17	53,06
<i>Filago gallica</i>	19,39	0,38	51,70
<i>Amsinckia calycina</i>	27,55	0,54	50,86
<i>Calandrinia capitata</i>	9,58	0,25	38,33
<i>Oxalis micrantha</i>	6,29	0,17	37,76
<i>Helenium aromaticum</i>	8,42	0,33	25,25
<i>Adesmia tenella</i>	5,61	0,25	22,45
<i>Erodium cicutarium</i>	11,14	0,50	22,28
<i>Lophochloa cristata</i>	4,85	0,29	16,62
<i>Erodium malacoides</i>	1,36	0,08	16,33
<i>Plantago tumida</i>	1,79	0,13	14,29
<i>Adiantum glanduliferum</i>	0,60	0,04	14,29
<i>Cerastium vulgatum</i>	1,70	0,13	13,61
<i>Amsinckia hispida</i>	0,94	0,08	11,22
<i>Calandrinia compressa</i>	3,17	0,29	10,86
<i>Senecio adenotrichius</i>	1,19	0,17	7,14
<i>Dioscorea humifusa</i>	0,43	0,08	5,10
<i>Pasithea coerulea</i>	0,60	0,13	4,76
<i>Baccharis paniculata*</i>	0,17	0,04	4,08
<i>Geranium core-core</i>	0,43	0,17	2,55
<i>Moscharia pinnatifida</i>	0,09	0,04	2,04
<i>Loasa pallida</i>	0,09	0,04	2,04

\*Corresponde a plántulas de *Baccharis paniculata* por lo que para todos los análisis se considera herbácea.

### Grado de Asociación y disociación entre las especies del estrato herbáceo

Considerando el elevado número de especies herbáceas presentes, la determinación del grado de asociación y de disociación entre pares de especies se realizó apareando el total de especies presentes solamente con las dominantes y las más representativas de cada exposición. Los dos últimos grupos de especies fueron definidas considerando su frecuencia, su densidad total, su rendimiento de materia seca y su participación en la composición botánica. De este modo, *Vulpia dertonensis* y *Bromus berterianus* resultaron ser las especies más asociadas al considerar ambas laderas, mientras que de las exclusivas de cada ladera, *Adesmia tenella* y *Oxalis micrantha* representan la ladera de exposición ecuatorial, y *Aira caryophyllea* y *Leucheria tomentosa* la de exposición polar.

El Cuadro 10 muestra los valores del grado de asociación obtenidos para cada par de especies del estrato herbáceo.

En general, se observa una subordinación de las especies respecto de las poáceas dominantes, especialmente de *Bromus berterianus*, la que estuvo presente en la totalidad de las unidades de muestreo.

Cuadro 10. Grado de asociación entre pares de especies del estrato herbáceo\*.

Especies haerbáceas	<i>Vulpia dertonensis</i>	<i>Bromus Berterianus</i>	<i>Oxalis micrantha</i>	<i>Adesmia tenella</i>	<i>Aira caryophylla</i>	<i>Leucheria tomentosa</i>
<i>Adesmia tenella</i>		DD	A	---	D	
<i>Adiantum glanduliferum</i>		DD				
<i>Aira caryophylla</i>		AA		D	---	AA
<i>Amsinckia hispida</i>		DD		AA	A	
<i>Amsinckia calycina</i>		AA	A		DD	DD
<i>Anthriscus scandicina</i>		DD			AA	A
<i>Baccharis paniculata**</i>		AA				
<i>Bromus berterianus</i>	AA	---	DD	DD	AA	AA
<i>Calandrinia capitata</i>		DD				
<i>Calandrinia compressa</i>		DD		A		
<i>Camissonia dentata</i>		DD	AA		D	
<i>Cerastium vulgatum</i>		DD			D	D
<i>Clarkia tenella</i>		AA			AA	A
<i>Conium maculatum</i>	DD	DD				
<i>Dioscorea bryoniifolia</i>	DD	DD				
<i>Dioscorea humifusa</i>		DD				
<i>Erodium cicutarium</i>		AA		AA		
<i>Erodium malacoides</i>		DD				
<i>Faselis retusa</i>		AA		D	AA	AA
<i>Filago gallica</i>		AA				A
<i>Gamochaeta sp.</i>		DD		AA		
<i>Geranium core-core</i>		DD				
<i>Helenium aromaticum</i>		AA				
<i>Herniaria cinerea</i>		DD				
<i>Leucheria tomentosa</i>		DD			AA	---
<i>Loasa pallida</i>	DD	DD				
<i>Lophochloa cristata</i>		DD				
<i>Moschardia pinnatifida</i>	DD	DD				
<i>Oxalis micrantha</i>		DD	---	A		
<i>Pasithea coerulea</i>		DD			AA	
<i>Pectocarya linearis</i>		AA	A		DD	D
<i>Plantago tumida</i>		DD			AA	
<i>Senecio adenotrichius</i>		DD				
<i>Vulpia dertonensis</i>	---	AA				

\* A indica asociación significativa al 95%, AA asociación significativa al 99%, D disociación significativa al 95% y DD disociación significativa al 99%.

\*\* Corresponde a plántulas de *Baccharis paniculata* por lo que para todos los análisis se considera herbácea.

Al igual que para el caso del estrato leñoso, se observaron asociaciones entre pares de especies más adaptadas a determinadas condiciones edafoclimáticas. De esta manera es posible observar que, en general, las especies exclusivas de la ladera de exposición

ecuatorial: *Adesmia tenella* y *Oxalis micrantha* se asocian a especies como *Camissonia dentata*, *Gamochaeta sp.* y *Calandrinia compressa*, propias de condiciones más xéricas, y que las especies representativas de la ladera de exposición polar: *Aira caryophyllea* y *Leucheria tomentosa*, lo hagan con *Plantago tumida*, *Faselis retusa* y *Clarkia tenella*, que requieren de ambientes más mésicos.



## CONCLUSIONES

La comparación del efecto de la exposición y la ubicación toposecuencial sobre algunas propiedades del suelo, la flora y la vegetación permite concluir que:

1. La exposición constituye la fuente de variación que tiene más efecto en las diferencias edáficas y florístico-vegetacionales de ambas laderas.
2. Las diferencias edáficas observadas entre las laderas opuestas no son suficientes para explicar los contrastes florísticos y vegetacionales de las fitocenosis que sustentan.
3. Las propiedades del suelo, contenido y retención de agua, en la ladera de exposición ecuatorial están determinadas por el contenido de arcilla, mientras que en la ladera de exposición polar dependen del contenido de materia orgánica.
4. Mientras que hay especies herbáceas dominantes que crecen indiferentemente en ambas exposiciones y situaciones toposecuenciales, como es el caso de *Bromus berterianus* y *Vulpia dertonensis*, hay otras que dominan en una determinada exposición como ocurre con *Amsinckia calycina* en la exposición ecuatorial y *Aira caryophyllea* en la polar.
5. La falta de respuestas categóricas a muchas de las interrogantes propuestas en este estudio se atribuye a la alta variabilidad de los datos provenientes de las distintas repeticiones como consecuencia de la heterogeneidad propia del medio en que se trabajó.

## LITERATURA CITADA

- ALLENDE P. 1993. Efecto de la compactación del suelo sobre el crecimiento radicular de especies pratenses. Tesis Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile, Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias. 40 p.
- AMELUNG, W., FLACH, K., and ZECH, W. 1997. Climatic effects on soil organic matter composition in the great plains. *Soil Science Society of America* 61: 115-123.
- AMELUNG, W., MILTNER, A., ZHANG, X., and ZECH, W. 2001. Fate of microbial residues during litter decomposition as affected by minerals. *Soil Science* 166: 598-606
- BENAVIDES, C. 1992. El suelo como sistema físico. 121-153. *In: Vera (Ed.), Suelos, una Visión Actualizada del Recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 345 p.*
- BIRKELAND, P. 1984. *Soils and Geomorphology. Oxford University Press (Ed.), New York, U.S.A. 364 p.*
- BRADY, N. 1974. *The Nature and Properties of Soils. MacMillan (Ed.), New York. 639 p.*
- BUOL, S., HOLE F.D., and MCCracken R.J. 1973. *Soil Genesis and Classification. AMES: The Iowa State University Press. Iowa, U.S.A. 360 p.*
- CABELLO A., SANDOVAL, A., y CARÚ, M. 2003. *Frankia*, una bacteria fijadora de nitrógeno en ramnáceas chilenas. Última actualización 18/10/2003. [www.uchile.cl/facultades/cs\\_forestales](http://www.uchile.cl/facultades/cs_forestales). Cons. 18/10/2003.
- CASTILLO, H., OLIVARES, A., POLZENIUS, G., y POTTER, W. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en la producción de materia seca de la pradera desarrollada bajo la influencia del espino *Acacia caven* (Mol.)Mol. *Avances en Producción Animal* N° 15 (1-2): 19-27.
- CASTILLO, V., MARTÍNEZ, M., and ALBADAZEJO, J. 1997. Runoff and soil loss response to vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Science Society of America* 61: 1116-1121.
- CERDA, A. 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in Eastern Spain. *Soil Science Society of America* 63: 362-368.

- CHEN, Q., SHEN, C., PENG, S., SUN, Y., YI, W., LI, Z., and JIANG, M. 2002. Soil organic matter in the subtropical mountainous region of South China. *Soil Science* 167: 401-415.
- CHENU, C., LE BISSONNAIS Y., and ARROUAYS D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America*: 1479-1486.
- CIREN-CORFO. 1990. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones IV a IX. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago, Chile. 67 p.
- CIREN-CORFO. 1996. Estudio Agrológico de la Región Metropolitana. CIREN-CORFO. Publicación 115. Santiago, Chile. 2 Tomos, 464 p.
- CONTRERAS, X. 1997. Influencia del régimen pluviométrico en la expresión de la reserva de semillas de la pradera anual de clima mediterráneo semiárido. Tesis Magíster en Ciencias Agropecuarias. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 101 p.
- CORNEJO R., GANDARA J. 1980. Influencia de la estrata arbustiva en la productividad de la estrata herbácea de la estepa de *Acacia caven* (Mol.). Tesis Ingeniero Forestal, Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 98 p.
- DAUBENMIRE, R. 1968. *Plant Communities: a Textbook of Plant Synecology*. Harper & Row Publishers, New York, U. S. A. 300 p.
- DERRUAU, M. 1966. Geomorfología. Ariel. Barcelona, España. 1966. 442 p.
- DOMÍNGUEZ, A. 1989. Tratado de Fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 601 p.
- ESPINOSA, M. 1982. Efecto de la temperatura y humedad del suelo sobre la degradación de la materia orgánica en un sector del secano interior de la Región Metropolitana. Memoria de Título Licenciado en Agronomía. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 81 p.
- FENG, Y., and LI, X. 2001. An analytical model of soil organic carbon dynamics based on a simple "hockey stick" function. *Soil Science* 166: 363-372.
- FLORES, R. 1983. Pedogénesis de cuatro Aridisols en el Secano Costero de la IV Región de Chile. Tesis Licenciado en Ciencias Agrícolas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 61 p.

- FUENTES, C. 1988. Sinopsis de paisajes de Chile Central. 17-28. In: Fuentes y Prenafeta (Ed.), Ecología del paisaje de Chile Central: Estudio sobre sus espacios montañosos. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 61 p.
- GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 165 p.
- HALL, R. 1999. A comparison of surface soils and buried soils : factors of soil development. Soil Science 165: 264-287.
- HAUSEMBUILLER, R. L. 1985. Soil Science: Principles and Practices. C. Brown Publishers, Washigton State University, U.S.A. 610 p.
- HERMOSILLA, M. 1991. Relación entre la cantidad de luz incidente, producción de materia seca y composición botánica de la pradera anual mediterránea bajo influencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 71 p.
- HERNÁNDEZ, J., ESCOPPINICHI, R., LEÓN R. 1991. Manual operativo del laboratorio de suelo y agua. Santos (Ed.). Manuales Universitarios 8. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Área Interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias, Laboratorio de Suelo y Agua. Baja California Sur, México. 91 p.
- HOLE, F., CAMBELL, J. 1985. Soil landscape analisis. Rowman and Allanheld Publishers, United State of America. 196 p.
- HUNCKLER, R., SCHETZL, R. 1997. Spodosol development as affected by geomorphic aspect, Baraga Gunty Michigan. Soil Society of America 61: 171-183.
- IBARRA M., 1980. Relaciones suelo-asociación forestal en la Cuenca de Abastecimiento del Embalse Digua. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Boletín Técnico Escuela de Ciencias Forestales N° 62. 44 p.
- JAHN, R., PFANNSCHMIDT, D., and STAHR, K. 1989. Soils from limestone and dolomite in the central Algarve (Portugal), their qualities in respect to groundwater recharge, runoff, erodibility and present erosion. 25-42. In: Arid and semiarid environments. 157 p.
- JENNY, H. 1941. Factors of Soil Formation: a System of Quantitative Pedology. MacGraw-Hill, New York, U.S.A. 281 p.

- KADMON R., YAIR A., and DANIN A. 1989. Relationships between soil properties, soil moisture, and vegetation along loess-covered hillslopes, Northern Negev, Israel. 43-58. In: *Arid and semiarid environments*. 157 p.
- KALBITS, K., SOLINGER, S., PARK, J., MICHALZIK, B., and MATZNER E. 2000. Control on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science* 165: 277-304.
- KERSHAW, K.A. 1971. *Quantitative and Dynamic Ecology*. Edward Arnold (Ed.), William Cloves and Sons Ltd. London, United Kingdom. 183 p.
- KHOMUTOVA, T., SHIRSHOVA, L., ROLLAND, W., and RICHTER, J. 2000. Mobilization of DOC (Dissolved organic carbon) from sandy loam soils under different land use (Lower Saxony, Germany). *Plant and Soil* 219: 13-19.
- LAILHACAR, S. 2001a. Determinación de la cobertura de suelo desnudo y de sus fracciones y de la cobertura y estratificación herbáceas totales y específicas. 7-16. In: *Manual de Práctica de Ecología N° 2 de la asignatura de Ecología*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 18 p.
- LAILHACAR, S. 2001b. Método del transecto suspendido para la determinación de la cobertura de las especies arbóreas y arbustivas. 4-6. In: *Manual de Práctica de Ecología N° 1 de la asignatura de Ecología*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 16 p.
- LAILHACAR, S. 2004. Sesión 20: Variables utilizadas en la descripción y caracterización de las asociaciones y comunidades vegetales. *Apuntes de la Asignatura de Ecología*. Escuela de Ciclo Básico de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. <http://agronomia.uchile.cl>, web cursos, ecología sesión 20: 10-11.
- LAVELLE, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science* 165 : 73-76.
- LÓPEZ, M. 2000. Antecedentes sobre el uso medicinal de la flora de la Quebrada de la Plata, Rinconada de Maipú, Región Metropolitana. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 74 p.
- LUZIO, W. 1992. El Suelo como Sistema Abierto. 1-10. In: Vera (Ed.), *Suelos, una Visión Actualizada del Recurso*. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 345 p.

- MEZA, R. y ESCOBAR, C. 2001. Efecto de la toposecuencia y de la exposición en las variables vegetacionales y florísticas de algunas especies leñosas de la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Informe de Práctica Profesional. 24 p.
- MILLAR, C. 1961. Edafología: Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental. México, D.F. 612 p.
- MONTECINOS, R. 1982. Efecto de la Exposición en el Desarrollo de Aridisols de la IV Región. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 79 p.
- OLIVARES, A., CASTILLO, H., y POTTER P. 1989. Cambios en contenido de humedad, composición botánica y producción de fitomasa en la pradera anual mediterránea bajo la influencia del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol. Avances en Producción Animal. N° 14: 41-52.
- OLIVARES, A. 1996. Pradera anual en el secano de la zona central. Circular de Extensión Departamento de Producción Animal 22: 6-14.
- OLIVARES, A., JOHNSTON, M., CONTRERAS, X. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. Avances en Producción Animal N° 23 (1-2): 35-43
- RAMÍREZ, R. 1992. Efecto de la temperatura y la humedad mínimas en la germinación de tres especies de la pradera anual mediterránea. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 76 p.
- RENAUD F., SCOTT H. D., and BREWER D.W. 2001. Soil temperature and heat transfer in a soil cropped to rice. Soil Science 166: 910-920.
- ROBINSON, G. 1960. Los Suelos, su Origen, Constitución y Clasificación. Ediciones Omega, Barcelona. 515 p.
- RUIZ, G. 1989. Catena en suelos negros de un sector depresional de la cuenca de Santiago. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 41 p.
- SADZAWKA, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agrpecuarias. Serie N° 16. Santiago, Chile. 130 p.

- SADZAWKA, A. 1998. ¿Qué es el pH del suelo?. *Tierra Adentro* N° 23: 47-50.
- SALLABERRY, M., EGLI, G., y VALENCIA, J. 1996. Las pequeñas aves de la Quebrada de la Plata. *Naturaleza*: 19-21.
- SANTIBÁÑEZ, F., URIBE, J. y VICENCIO, M. 1990. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología, Depto. de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile. 65 p.
- SCHLEGEL, F. 1963. Estudio florístico y fitosociológico de la Quebrada de la Plata, Hacienda Rinconada de lo Cerda, Maipú, Provincia de Santiago, Departamento de Santiago, Comuna de Maipú. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 221 p.
- SCOTT, N., VERNONO., and ELLIOT, E. 1996. Soil textural control on decomposition and organic matter dynamics. *Soil Science Society of America* 60: 1102-1109.
- SCOTT, N. 1998. Soil aggregation and organic matter mineralization in forest and grasslands. *Soil Science Society of America* 62:1087-1089
- SEGARRA, F. 1980. Caracterización de la curva de crecimiento de la pradera natural, en el secano interior mediterráneo. Tesis Licenciado en Agronomía. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 52 p.
- SEPÚLVEDA, C. 1999. Relación suelo-vegetación en la región del matorral y bosque esclerófilo de Chile Central. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 110 p.
- SILVA, M., CASTELLANO, G., ALONSO, C., y SQUELLA, F. 1987. Control heliotérmico, efecto del nitrógeno, la utilización y la humedad en el comportamiento de la pradera anual mediterránea I Crecimiento y senescencia. *Avances en Producción Animal* 12 (1-2): 11-25.
- STEHR, K. 1982. Regulación climática de la fenología y extracción de nitrógeno de la pradera mediterránea anual. Tesis Licenciado en Agronomía. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 82 p.
- TORO, J., SOTO, G., MORENO, C., y LEY, C. 1983. Relación suelo-planta-agua en el valle del Pupío. *Terra Aridae* 2: 230-256.

- TORRES, C. 1999. Efecto de distintas especies y procedencias arbustivas de género *Atriplex* sobre el estrato herbáceo asociado en el secano costero árido de la IV Región. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 116 p.
- USDA, SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture. 437 p.
- VARNERO, M.T. 1992. El Suelo como Sistema Biológico. 197-215. *In*: Vera (Ed.), Suelos, una Visión Actualizada del Recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 345 p.
- VERA, W., LUZIO, W., y CARRASCO, A. 1983. Influencia de algunas propiedades de los suelos en la humedad aprovechable en suelos del secano costero de la IV Región de Chile. *Terra Aridae* 2: 299-316.
- VERA, W y CASANOVA, M. 1992. Morfología de Suelos. 23-72. *In*: Vera (Ed.), Suelos, una Visión Actualizada del Recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 345 p.
- WRINGHT, R., BOYER, D., WINANT, W., and PERRY, H. 1999. The influence of soil factors on yield differences among landscape positions in a Appalachian cornfield. *Soil Science* 149: 375-382.
- ZUNINO, H. 1986. Materia orgánica en suelos áridos y semiáridos. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín* N° 5: 265-272.



## APÉNDICES

### APÉNDICE 1. Descripción de calicatas.

#### Calicata EE1

A1 (0-12 cm): Pardo 10 YR 4/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arenosa fina; bloques subangulares medios débiles; ligeramente duro, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros finos comunes; raíces finas escasas; gravas medias y gruesas, menos de 15%; límite abrupto lineal.

B (12-27 cm): Pardo 10 YR 4/3 (s), pardo muy oscuro 10 YR 2/2 (h); franco arenosa; bloques subangulares gruesos y muy gruesos fuertes; duro, plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos comunes, finos escasos; raíces muy finas escasas y finas comunes; gravas medias y gruesas, menos de 25%; límite claro lineal.

C (27 cm y más): Pardo 10 YR 4/3 (s), pardo muy oscuro 10 YR 2/2 (h); franco arenoso; maciza; duro, ligeramente plástico, adhesivo; poros muy finos escasos; raíces muy finas y finas escasas.

#### Calicata EE2

A1 (0-10 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa con grava; bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro, plástico, ligeramente adhesivo; poros finos abundantes; raíces finas escasas, medias moderadas; gravas angulares abundantes, desde 0,5 a 3 cm de diámetro; límite claro lineal.

A2 (10-20 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa; bloques subangulares finos y medios fuertes; duro, plástico, ligeramente adhesivo; poros gruesos abundantes, finos medios; raíces medias y finas escasas; gravas angulares comunes, 0,5-3 cm de diámetro; límite lineal claro.

- B (20-32 cm): Pardo 7.5 YR 4/3 (s), pardo rojizo oscuro 5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa con gravas; bloques subangulares medios fuertes; duro, plástico, ligeramente adhesivo; poros finos y gruesos abundantes; raíces finas comunes, medias escasas; gravas angulares abundantes, 0,5-3 cm de diámetro; límite lineal claro.
- C1 (32-55 cm): Pardo 7,5 YR 4/3 (s), pardo rojizo oscuro 5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa con gravas; maciza; plástico, ligeramente adhesivo; raíces finas comunes, medias y gruesas abundantes; gravas angulares abundantes.
- Calicata EE3
- A1 (0-7 cm): Pardo amarillento 10 YR 5/4 (s), pardo muy oscuro 10 YR 2/2 (h); franco arenosa con grava; bloques subangulares gruesos y moderados; ligeramente duro, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros muy finos y finos escasos; raíces muy finas escasas; gravas angulares gruesas, menor a 15%; límite lineal claro.
- B (7-15 cm): Pardo oliva claro 2.5 Y 5/3 (s), pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2 (h); franco arenosa con grava; bloques subangulares medios débiles; suave, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros finos escasos; raíces muy finas abundantes, finas comunes y medias escasas; gravas gruesas, 40%; límite lineal claro.
- 2C (15-48 y más): Pardo oliva claro 2.5 Y 5/3 (s), pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa; maciza; plástico, muy adhesivo; poros finos y muy finos escasos; raíces finas y muy finas comunes.
- Calicata EPI
- A1 (0-12 cm): Pardo amarillento 10 YR 5/4 (s), pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2 (h); franco arenosa; bloques subangulares finos y medios moderados; ligeramente duro, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poro finos y medios comunes; raíces finas escasas; grava angular común 0,5-3 cm de diámetro; límite claro lineal.
- B (12-44 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7,5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenosa; bloques subangulares medios débiles; duro, plástico y adhesivo; poros finos y medios abundantes; raíces finas y medias escasas; grava angular y facetada fina y media muy abundante (40%); límite abrupto lineal.

- 2C (44-53 cm): Capa de piedras facetadas.
- 3C (53-83 cm): Pardo rojizo 5 YR 4/4 (s), pardo rojizo oscuro 5 YR 3/3 (h); arcillosa; maciza; muy duro, plástico y adhesivo; cutanes escasos, discontinuos, delgados en caras de poros.
- Calicata EP2
- A1 (0-19 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arenosa gruesa; bloques subangulares gruesos fuertes (primeros 3 cm tendencia laminar); suave, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros finos abundantes; raíces finas comunes; gravas angulares escasas, máximo 2 cm de diámetro; límite claro lineal.
- B (19-40 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arenoso con grava; bloques subangulares gruesos fuertes; ligeramente duro; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros finos, medios y gruesos abundantes; raíces finas escasas; gravas angulares abundante, desde menos de 1 cm a 4 cm de diámetro; límite abrupto irregular.
- R (40-60 y más). Andesita sin alterar.
- Calicata EP3
- A1 (0-19 cm): Pardo 10 YR 5/3 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arenoso con grava; bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro, ligeramente plástico, no adhesivo; poros finos abundantes, medios comunes; raíces finas y medias comunes; gravas angulares abundantes, hasta 2 cm de diámetro; límite claro lineal.
- B (19-43 cm): Pardo 7.5 YR 5/4 (s), pardo oscuro 7.5 YR 3/2 (h); franco arcillo arenoso con grava; bloques subangulares finos escasos, medios abundantes; duro, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; poros finos y medios abundantes; raíces finas escasas, medias abundantes; grava angular abundantes, hasta 8 cm de diámetro; límite abrupto lineal.
- 2C (43-80 cm y más): Andesita meteorizada.

## APÉNDICE 2. Análisis estadístico.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación (r) entre las variables del suelo en la ladera de exposición ecuatorial.

	pH	MO	Db	Pw	33 kPa	1500 kPa	Arcilla	Limo	Arena
pH	-	0,20	0,29	0,57	-0,18	0,58*	0,57*	0,27	-0,44
MO	-	-	0,30	-0,09	0,20	-0,07	-0,04	-0,04	-0,19
Db	-	-	-	-0,15	-0,65**	0,07	0,25	0,04	0,01
Pw	-	-	-	-	0,49	0,69**	0,78**	-0,02	- 0,10
33 kPa.	-	-	-	-	-	0,19	0,31	-0,35	0,24
1500 kPa	-	-	-	-	-	-	0,68**	-0,43	0,30
Arcilla	-	-	-	-	-	-	-	-0,09	-0,04
Limo	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,90**
Arena	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 2. Coeficientes de correlación (r) entre las variables del suelo y las variables del estrato herbáceo en la ladera de exposición ecuatorial.

	pH	MO	Db	Pw	33 kPa.	1500 kPa	Arcilla	Limo	Arena
SueDesHerb	-0,44	-0,11	0,45	0,34	-0,18	0,03	0,49	0,27	-0,18
CobHerbTot	0,28	0,36	-0,32	-0,30	0,17	-0,07	-0,21	-0,43	0,24
EstrHerbTot	-0,27	0,21	0,21	0,23	-0,44	0,57*	0,15	0,10	-0,26
DivFlorHerb	0,77**	0,41	-0,41	-0,58*	0,19	-0,45	-0,49	-0,25	0,14
DenHerbTot	-0,51	0,23	-0,06	-0,43	0,23	-0,25	-0,26	-0,36	0,28
RenHerbTot	-0,37	-0,04	-0,24	-0,24	0,35	-0,12	-0,19	-0,18	0,20

Cuadro 3. Coeficientes de correlación (r) entre las variables del estrato herbáceo en la ladera de exposición ecuatorial.

	SueDesHerb	CobHerbTot	EstrHerbTot.	DivFlorHerb	DenHerbTot	RenHerbTot
SueDesHerb	-	-1,00**	-0,13	-0,71**	-0,48	-0,60*
CobHerbTot	-	-	-0,10	0,85**	0,71**	0,49
EstrHerbTot	-	-	-	-0,36	-0,30	-0,27
DivFlorHerb	-	-	-	-	0,76**	0,59**
DenHerbTot	-	-	-	-	-	0,76**
RenHerbTot	-	-	-	-	-	-

Cuadro 4. Coeficientes de correlación (r) entre las variables de suelo en la ladera de exposición polar.

	pH	MO	Db	Pw	33 kPa	1500 kPa	Arcilla	Limo	Arena
pH	-	0,53*	0,12	0,81**	0,89**	0,79**	0,31	0,48	0,57*
MO	-	-	-0,11	0,68**	0,62**	0,67**	0,21	-0,25	0,18
Db	-	-	-	-0,21	0,07	-0,04	0,24	-0,12	0,23
Pw	-	-	-	-	0,94**	0,89**	0,15	-0,52*	-0,50*
33 kPa.	-	-	-	-	-	0,91**	0,26	-0,50	0,53
1500 kPa	-	-	-	-	-	-	0,13	-0,35	0,34
Arcilla	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-0,09
Limo	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,97**
Arena	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 5. Coeficientes de correlación (r) entre las variables de suelo y las variables del estrato herbáceo en la ladera de exposición polar.

	pH	MO	Db	Pw	33 kPa.	1500 kPa	Arcilla	Limo	Arena
SueDesHerb	0,60*	-0,18	0,23	0,39	0,47	0,31	0,08	-0,41	0,55*
CobHerbTot	-0,56*	0,17	-0,25	-0,35	-0,44	-0,30	0,19	0,42	0,57*
EstrHerbTot	-0,57*	0,24	-0,34	-0,22	-0,41	-0,20	-0,03	0,30	-0,47
DivFlorHerb	-0,47	-0,41	0,35	-0,79**	-0,68**	-0,62*	-0,02	0,28	-0,21
DenHerbTot	-0,34	0,05	-0,13	-0,45	-0,38	-0,28	0,25	0,42	-0,48
RenHerbTot	0,03	0,51	0,18	0,13	0,10	0,39	-0,26	0,11	-0,19

Cuadro 6. Coeficientes de correlación (r) entre las variables del estrato herbáceo en la ladera de exposición polar.

	SueDesHerb	CobHerbTot	EstrHerbTot.	DivFlorHerb	DenHerbTot	RenHerbTot
SueDesHerb	-	-1,00**	-0,81**	-0,24	-0,65*	-0,31
CobHerbTot	-	-	0,82**	0,18	0,65*	0,23
EstrHerbTot	-	-	-	0,18	0,58*	0,40
DivFlorHerb	-	-	-	-	0,62*	-0,05
DenHerbTot	-	-	-	-	-	0,24
RenHerbTot	-	-	-	-	-	-

Cuadro 7. Promedio de las variables de suelo y estrato herbáceo y sus diferencias significativas en función de la exposición y de la ubicación en la toposecuencia.\*

	Exposición Ecuatorial			Exposición Polar		
	EE1	EE2	EE3	EP1	EP2	EP3
pH	<sup>A</sup> 5,74 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 5,98 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 6,27 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 6,24 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 5,76 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 5,71 <sup>b</sup>
MO	<sup>A</sup> 4,67 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 4,26 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 4,17 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,26 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 5,69 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 4,12 <sup>a</sup>
Db	<sup>A</sup> 1,49 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,60 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,47 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,49 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,42 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,54 <sup>a</sup>
Pw	<sup>A</sup> 1,55 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,68 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 2,33 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 3,02 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,64 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 1,33 <sup>b</sup>
33 kPa.	<sup>A</sup> 9,18 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,47 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 9,20 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 12,59 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 10,30 <sup>b</sup>	<sup>B</sup> 10,45 <sup>b</sup>
1500 kPa	<sup>A</sup> 3,74 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 4,25 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 4,78 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 5,84 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 4,24 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 4,11 <sup>b</sup>
Arcilla	<sup>A</sup> 14,65 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 13,83 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 16,48 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 15,59 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 16,14 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 15,04 <sup>a</sup>
Limo	<sup>A</sup> 24,59 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 21,70 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 22,80 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 33,39 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 25,93 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 27,46 <sup>a</sup>
Arena	<sup>A</sup> 60,76 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 64,47 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 60,72 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 51,02 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 57,93 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 57,51 <sup>a</sup>
SueDesHerb	<sup>A</sup> 63,50 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 70,75 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 64,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 31,25 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 12,75 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 24,75 <sup>a</sup>
CobHerbTot	<sup>A</sup> 38,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 30,50 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 37,50 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 80,25 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 111,75 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 89,25 <sup>a</sup>
EstrHerbTot	<sup>A</sup> 1,11 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,30 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,31 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,46 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,58 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,44 <sup>a</sup>
DivFlorHerb	<sup>A</sup> 12,50 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,50 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 8,75 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 7,25 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,75 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 9,00 <sup>a</sup>
DenHerbTot	<sup>A</sup> 1195,41 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 759,19 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 469,91 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 2154,58 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 3152,55 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1711,21 <sup>a</sup>
RenHerbTot	<sup>A</sup> 37,54 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 23,57 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 25,04 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 78,71 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 57,55 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 53,84 <sup>a</sup>

\* Mayúsculas distintas en una misma fila muestran diferencias significativas para Exposición, y minúsculas distintas indican diferencias significativas para niveles de altura (niveles de confianza de 99 y 95 %).

Cuadro 8. Promedio de las variables del estrato leñoso y sus diferencias significativas en función de la exposición y de la ubicación en la toposecuencia\*. (Adaptado de Meza y Escobar, 2001).

	Exposición Ecuatorial			Exposición Polar		
	EE1	EE2	EE3	EP1	EP2	EP3
CAT	<sup>A</sup> 100,42 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 96,84 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 93,69 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 118,54 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 113,99 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 116,92 <sup>a</sup>
Suelo desnudo	<sup>A</sup> 49,58 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 53,16 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 56,31 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 31,46 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 36,01 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 33,08 <sup>a</sup>
<i>Acacia caven</i>	<sup>A</sup> 0,54 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 3,40 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,65 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 3,20 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 5,22 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 6,23 <sup>a</sup>
<i>Baccharis paniculata</i>	<sup>A</sup> 4,49 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 0,87 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,56 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Colliguaja odorifera</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 2,49 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 10,13	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Cryptocarya alba</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,11 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,30 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,61 <sup>a</sup>
<i>Eupatorium salvia</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,43 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,59 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,55 <sup>a</sup>
<i>Flourensia thurifera</i>	<sup>A</sup> 0,84 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,05 <sup>a</sup>
<i>Kageneckia oblonga</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,06 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,25 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,57 <sup>a</sup>
<i>Lithraea caustica</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 2,84 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,85 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Ophryosporus paradoxus</i>	<sup>A</sup> 5,66 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 2,77 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,55 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,47 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,50 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Podanthus mitiqui</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,10 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,34 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Porlieria chilensis</i>	<sup>A</sup> 0,44 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,01 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 2,19 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 3,88 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,46 <sup>a</sup>
<i>Proustia cuneifolia</i>	<sup>A</sup> 1,41 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>
<i>Proustia ilicifolia</i>	<sup>A</sup> 0,25 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,23 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,39 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 3,15 <sup>a</sup>
<i>Puya berteroniana</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,71 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,63 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,70 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,10 <sup>a</sup>
<i>Quillaja saponaria</i>	<sup>B</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 13,66 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,92 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 8,73 <sup>a</sup>
<i>Solanum ligustrinum</i>	<sup>A</sup> 16,43 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 20,30 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 20,69 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 34,12 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 34, 23 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 33,54 <sup>a</sup>
<i>Trevoa trinervis</i>	<sup>A</sup> 0,14 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,85 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 0,66 <sup>b</sup>	<sup>B</sup> 0,62 <sup>b</sup>
<i>Trichocereus chiloensis</i>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 3,14 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,53 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 0,00 <sup>a</sup>

\* Letras mayúsculas distintas en una misma fila muestran diferencias significativas para Exposición, y letras minúsculas distintas en una misma fila muestran diferencias significativas para Toposecuencia.

APÉNDICE 3. Resumen de los resultados obtenidos mediante la utilización del método *Point Quadrat*.

Cuadro 1. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo inferior de la ladera de exposición ecuatorial.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Adesmia tenella</i>	0,50	1,85	1,79
<i>Amsinckia calycina</i>	1,50	4,48	4,21
<i>Aristolochia chilensis</i>	4,25	7,46	7,77
<i>Bromus berterianus</i>	16,75	39,08	39,81
<i>Calandrinia compressa</i>	0,25	1,04	1,04
<i>Camissonia dentata</i>	0,50	2,08	2,08
<i>Erodium cicutarium</i>	1,25	3,79	3,61
<i>Lophochloa cristata</i>	0,50	1,48	1,38
<i>Oxalis micrantha</i>	5,00	15,87	16,24
<i>Pectocarya linearis</i>	5,00	16,72	15,92
<i>Senecio adenotrichius</i>	0,25	0,57	0,51
<i>Vulpia dertonensis</i>	2,00	4,55	4,59
Mantillo	18,00		
Piedra	20,75	-	-
Material fino	25,00	-	-

Cuadro 2. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo medio de la ladera de exposición ecuatorial.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Alstroemeria pulcra</i>	0,50	4,17	2,94
<i>Amsinckia calycina</i>	2,75	8,48	9,37
<i>Bromus berterianus</i>	5,00	23,57	26,68
<i>Calandrinia capitata</i>	2,25	6,51	6,03
<i>Calandrinia compressa</i>	0,25	0,58	0,46
<i>Camissonia dentata.</i>	0,25	0,61	0,44
<i>Erodium cicutarium</i>	0,50	1,54	1,30
<i>Erodium moschatum</i>	0,25	0,61	0,44
<i>Herniaria cinerea</i>	2,75	8,82	7,63
<i>Lophochloa cristata</i>	1,00	2,44	1,75
<i>Moscaria pinnatifida</i>	0,50	2,69	1,91
<i>Pectocarya linearis</i>	11,00	31,76	31,93
<i>Senecio adenotrichius</i>	1,00	2,41	3,56
<i>Vulpia dertonensis</i>	2,50	5,81	5,56
Guano conejo	0,75	-	-
Mantillo	14,25	-	-
Piedra	26,50	-	-
Material fino	29,25	-	-



Cuadro 3. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo superior de la ladera de exposición ecuatorial.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Adesmia tenella</i>	0,75	1,61	1,26
<i>Alstroemeria pulchra</i>	0,75	3,00	2,50
<i>Amsinckia calycina</i>	4,00	11,92	10,31
<i>Bromus berterianus</i>	10,50	23,61	26,31
<i>Calandrinia compressa</i>	0,50	1,64	1,20
<i>Dioscorea humifusa</i>	0,50	0,78	0,60
<i>Erodium cicutarium</i>	3,25	12,81	12,21
<i>Helenium aromaticum</i>	0,25	0,81	0,54
<i>Lophochloa cristata</i>	0,25	0,39	0,60
<i>Pectocarya linearis</i>	10,00	21,88	21,93
<i>Senecio adenotrichius</i>	0,75	2,50	1,97
<i>Vulpia dertonensis</i>	6,00	19,05	20,55
Mantillo	16,00	-	-
Piedra	17,50	-	-
Material fino	30,50	-	-

Cuadro 4. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo inferior de la ladera de exposición polar.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Amsinckia calycina</i>	0,50	0,59	0,38
<i>Anthriscus caucalis</i>	4,50	4,50	3,74
<i>Bromus berterianus</i>	14,50	16,06	13,68
<i>Cerastium vulgatum</i>	2,25	2,25	1,70
<i>Conium maculatum</i>	25,25	36,74	39,05
<i>Dioscorea humifusa</i>	3,00	6,25	5,16
<i>Erodium cicutarium</i>	3,00	3,53	2,63
<i>Faselis retusa</i>	1,50	1,68	1,28
<i>Leucheria tomentosa</i>	0,50	0,59	0,38
<i>Vulpia dertonensis</i>	25,25	27,81	32,01
Mantillo	21,00	-	-
Piedra	3,00	-	-
Material fino	7,25	-	-

Cuadro 5. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo medio de la ladera de exposición polar.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Aira caryophylla</i>	44,00	37,28	43,79
<i>Adiantum gladuliferum</i>	0,25	0,20	0,12
<i>Bromus berterianus</i>	24,25	22,27	19,27
<i>Clarkia tenella</i>	1,75	1,59	0,98
<i>Conium maculatum</i>	3,50	2,97	2,24
<i>Dioscorea humifusa</i>	0,25	0,20	0,12
<i>Erodium cicutarium</i>	0,50	0,40	0,24
<i>Faselis retusa</i>	0,50	0,40	0,24
<i>Filago gallica</i>	0,50	0,51	0,34
<i>Helenium aromaticum</i>	0,25	0,27	0,19
<i>Leucheria tomentosa</i>	2,25	1,93	1,34
<i>Pasithea coerulea</i>	0,75	0,73	0,81
<i>Vulpia dertonensis</i>	33,00	31,26	30,33
Mantillo	5,50	-	-
Piedra	1,50	-	-
Material fino	5,75	-	-

Cuadro 6. Cobertura herbácea y contribuciones de presencia y contacto específicas en el tramo superior de la ladera de exposición polar.

Especies herbáceas	Cobertura específica	Contribución específica (%)	
		de presencia	de contacto
<i>Aira caryophylla</i>	2,25	2,34	1,60
<i>Amsinckia calycina</i>	0,50	0,63	0,45
<i>Amsinckia hispida</i>	0,50	0,62	0,42
<i>Bromus berterianus</i>	36,00	40,92	43,36
<i>Calandrinia compressa</i>	0,50	0,65	0,48
<i>Cerastium vulgatum</i>	1,50	1,46	1,00
<i>Conium maculatum</i>	1,50	1,43	0,99
<i>Clarkia tenella</i>	3,50	3,99	3,31
<i>Erodium cicutarium</i>	4,00	5,09	3,98
<i>Faselis retusa</i>	1,25	1,33	0,92
<i>Filago gallica</i>	1,25	1,39	0,94
<i>Lophochloa cristata</i>	0,25	0,27	0,17
<i>Leucheria tomentosa</i>	1,50	1,83	1,55
<i>Pectocarya linearis</i>	1,25	1,61	1,17
<i>Vulpia dertonensis</i>	33,50	36,44	39,67
Mantillo	15,25	-	-
Piedra	3,75	-	-
Material fino	4,00	-	-

