



## Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria ( IBTA )

**FACTORES EDAFICOS SELECCIONADOS COMO  
INDICADORES DE DEGRADACION DE UNA PRADERA  
NATIVA TIPO THOLAR DEL ALTIPLANO SEMIARIDO**

**Julio Cesar Montecinos y João S De Queiroz**

**IBTA 164/BOLETIN TECNICO 32/SR-CRSP 30/1995**

**USAID PROGRAMA DE APOYO A LA INVESTIGACION  
COLABORATIVA EN RUMIANTES MENORES**

**Small Ruminant Collaborative Research Support Program  
(SR-CRSP)**

**CONVENIO MACA/IBTA/USAID/SR-CRSP**

**Noviembre de 1995**

El Programa de Apoyo a la Investigacion Colaborativa en Rumiantes Menores (USAID Small Ruminant Collaborative Research Support Program) que es una colaboracion entre la Agencia para el Desarrollo Internacional de Gobierno de los Estados Unidos (USAID), Washington D C (grant number 1328-G-0046-00) y el Instituto Boliviano de Tecnologia Agropecuaria (IBTA), dependiente de la Secretaria Nacional de Agricultura y Ganaderia del Ministerio de Desarrollo Economico

El IBTA/SR-CRSP cuenta con el apoyo financiero del Programa PL-480 de la Mision USAID/Bolivia

Este informe es el resumen de la tesis del principal autor (Montecinos 1995) Los autores desean agradecer la cooperaci3n brindada por las familias y autoridades de las Comunidades de Ocata y Winto, Provincia Jose Manuel Pando del Departamento de La Paz, que hizo posible este trabajo

Julio Cesar Montecinos  
Jo3o S De Queiroz

La Paz, Noviembre, 1995

## Indice de Contenidos

Listado de cuadros	v
Listado de figuras	vi
Resumen	1
Introduccion	2
Revisión de literatura	4
Determinacion de la degradacion y condicion de praderas	4
Indicadores de degradacion de praderas	5
Degradacion de las praderas altiplanicas	5
Principales factores como causa de degradacion de las praderas altiplanicas	6
Relacion suelo vegetacion	7
Materiales y Metodos	8
Localizacion	8
Clima	8
Geomorfologia y suelo	8
Vegetacion	8
Eleccion de los sitios de muestreo	10
Caracterizacion de la vegetacion	10
Caracterizacion de los suelos	10
Relacion pedogenetica	11
Resultados y Discusion	12
Densidad de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	12
Estructura vertical de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	12
Cobertura vegetal de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	12
Cobertura vegetal de los espacios interarbustivos	13
Morfologia y caracteristicas quimicas de los suelos de la terraza aluvial	14
Morfologia de los espacios interarbustivos	14
Morfologia de los monticulos	16
Comparacion morfologica entre perfiles TI y TM	16
Nitrogeno	18

Fosforo	18
Materia Organica	18
Carbonatos	18
Capacidad de intercambio cationico	20
Granulometria	20
Densidad aparente	21
Discontinuidades litologicas	21
Caracteristicas hidricas	23
Clasificacion de los suelos de la terraza aluvial	26
Morfologia y caracteristicas quimicas de los suelos de abanico	26
Morfologia de los espacios interarbustivos	26
Morfologia de los monticulos	28
Comparacion morfologica entre los perfiles AM y AI	28
Nitrogeno	30
Fosforo	30
Materia organica	30
Carbonatos	30
Capacidad de intercambio cationico	30
Granulometria	32
Densidad aparente	32
Discontinuidades litologicas	33
Caracteristicas hidricas	34
Retencion de humedad	36
Clasificacion de los suelos del abanico	37
Conclusiones y Recomendaciones	38
Bibliografia	41

## Listado de Cuadros

### Página

1	Descripción del perfil del pedon TI en el espacio interarbustivo, suelos de la terraza aluvial	15
2	Descripción del perfil del pedon TM en el montículo, suelos de la terraza aluvial	17
3	Contenido de arena, limo y arcilla por horizontes (%) en los espacios interarbustivos y montículos en los suelos ubicados en la terraza aluvial	20
4	Densidad aparente en espacios interarbustivos y montículos de la terraza aluvial	21
5	Pruebas pareadas de Student "t" por una cola entre velocidades de infiltración en montículos y espacios interarbustivos en los suelos de la terraza aluvial	23
6	Descripción del perfil del pedon AI en el espacio interarbustivo, suelos del abanico	27
7	Descripción del perfil del pedon AM en el montículo, suelos del abanico	29
8	Contenido de arena, limo y arcilla por horizontes en los espacios interarbustivos y montículos en los suelos ubicados en el abanico	32
9	Densidad aparente en el espacio interarbustivo y montículo en los suelos del abanico	33
10	Pruebas pareadas de "t Student" por una cola entre velocidades de infiltración de montículos y espacios interarbustivos en el área de estudio ubicada en los suelos en el abanico	34

## Listado de Figuras

1	Mapa de ubicación de las comunidades de Ocata y Winto, Santiago de Machaca, Departamento de La Paz	9
2	Estructura vertical de <i>Parastrephia lepidophylla</i> en el área de estudio en suelos de la terraza aluvial y suelos del abanico	13
3	Cobertura de <i>Parastrephia lepidophylla</i> (T), espacio interarbustivo (I) y montículos (M) en el área de estudio en suelos de la terraza aluvial y suelos del abanico	14
4	Contenido de nitrógeno (3a), fósforo (3b), materia orgánica (3c), carbonatos (3d) y capacidad de intercambio catiónico (3d) por horizontes de los montículos y espacios interarbustivos del sitio de muestreo en la terraza aluvial	19
5	Análisis de conglomerados según horizontes como objetos y fracciones granulométricas como atributos para los suelos de la terraza aluvial	22
6	Curvas de ajuste de las velocidades de infiltración por pares adyacentes infiltrados en montículos y espacios interarbustivos de la terraza aluvial	24
7	Curvas de ajuste de la retención de la humedad en espacios interarbustivos y montículos en el área de los suelos ubicados en la terraza aluvial	25
8	Contenido de nitrógeno (8a), fósforo (8b), materia orgánica (8c), carbonatos (8d) y capacidad de intercambio catiónico (8e) por horizontes de los montículos y espacios interarbustivos del sitio de muestreo en el abanico	31
9	Análisis de conglomerados según horizontes como objetos y fracciones granulométricas como atributos para los suelos del abanico aluvial	33
10	Curvas de ajuste de las velocidades de infiltración por pares adyacentes infiltrados en montículos y espacios interarbustivos en el área de los suelos en abanico	35
11	Curvas de ajuste de la retención de la humedad en espacios interarbustivos y montículos de los suelos del abanico	36

# Factores Edáficos Seleccionados Como Indicadores de Degradación de una Pradera Nativa Tipo Tholar Del Altiplano Semiárido

Julio Cesar Montecinos y João S de Queiroz<sup>1</sup>

## Resumen

En la zona de Santiago de Machaca formaciones vegetales dominadas por *Parastrephia lepidophylla* ocupan grandes superficies. Un fenómeno generalizado en estas formaciones es la presencia de montículos debajo los arbustos los cuales poseen características distintas al material edáfico ubicado entre los arbustos. Este estudio evaluó el valor de estas diferencias como indicadores de degradación de la pradera. Para evaluar si la ocurrencia de montículos es un indicador de degradación se comprobaron dos hipótesis sobre el origen del montículo, determinando la relación pedogenética entre los montículos y el material edáfico inferior. También se evaluó la diferencia de los montículos y espacios interarbustivos en cuanto a características hidrológicas y factores de fertilidad de suelos. Se eligieron dos áreas de muestreo de acuerdo a su ubicación geomorfológica, una en una terraza aluvial y otra en un abanico. Los resultados referidos a la relación pedogenética muestran que ambas áreas tienen el horizonte del montículo relacionado con el material edáfico inferior. Esto implica que existe una remoción del horizonte "A" de los espacios interarbustivos que anteriormente se distribuía uniformemente. Las diferencias en cuanto a las características hidrológicas, entre espacios interarbustivos y montículos, muestran que la velocidad de infiltración instantánea en montículos es mayor hasta en 10 veces si se compara con espacios interarbustivos. La retención de humedad es diferente entre montículos y espacios interarbustivos. Mientras en los montículos existe una mayor disponibilidad de agua, esta es menor en espacios interarbustivos. Esta diferencia se hace menor a medida que la tensión sube y el agua es menos disponible. Los componentes de la fertilidad de suelos confirman las diferencias en estructura, densidad aparente, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico entre los montículos y espacios interarbustivos. Se puede resaltar la estructura del suelo en el horizonte superficial de los montículos que es granular o en bloques medianos, mientras que en los espacios interarbustivos es laminar. Se puede concluir edafológica y productivamente que los montículos son diferentes a los espacios interarbustivos. Lo que indica que la pradera se encontraría en un estado degradado.

---

<sup>1</sup>/ Respectivamente Ingeniero Agrónomo y ex-becario del Programa IBTA/CRSP, Científico Residente del Sub-Programa Ecología de Pastizales IBTA/CRSP, Utah State University

## Introducción

Los sistemas agropastoriles o pastoriles del Altiplano boliviano están sustentados principalmente por los recursos forrajeros que suministran los campos nativos de pastoreo. Por lo general se desconoce el estado ecológico de estos ecosistemas.

La noción de que las praderas del Altiplano están degradadas es generalizada (Le Baron et al 1979 y Alzerreca 1992). Sin embargo, las definiciones sobre degradación son imprecisas y los criterios utilizados para determinar si existe o no degradación no son especificados.

La visión convencional de degradación de praderas está basada en la teoría de sucesión de Clements (Clements 1916). Bajo este modelo de dinámica de vegetación, cambios en composición y estructura de asociaciones vegetales a lo largo del tiempo siguen una trayectoria determinística y previsible la cual culmina con un estado relativamente estable denominado "climax". Siguiendo este modelo, la condición de la pradera es evaluada de acuerdo a la similitud de la composición actual respecto a la composición de la vegetación climax (Dyksterhuis 1949).

Debido a la emergencia de nuevos modelos sobre dinámica de vegetación (Westoby et al 1989 y Friedel 1991), los conceptos y métodos utilizados convencionalmente para la definición y determinación de degradación en praderas están bajo revisión (Queiroz 1993 y Behnke y Scoones 1993). El pensamiento científico actual indica que el término degradación debe ser reservado para cambios permanentes en la capacidad de regeneración de las praderas (Queiroz 1993 y Society of Range Management 1991). Esto indica que la evaluación de la condición de las praderas tiene que llevarse tomando en cuenta características fundamentales del ecosistema dentro de ellas los factores edáficos (Behnke y Scoones 1993 y Biot 1993).

En la zona de Santiago de Machaca en el Altiplano semiarido, formaciones vegetales arbustivas denominadas "tholares" cubren extensas superficies. Un fenómeno generalizado en estas formaciones es la presencia de montículos de tierra debajo los arbustos los cuales poseen características distintas al material edáfico ubicado entre los arbustos. Este estudio evaluó el valor de estas diferencias como indicadores de degradación de la pradera en zonas del Altiplano cubiertas por vegetación arbustiva de porte bajo.

## **Hipotesis**

La hipotesis central probada fue la siguiente

- Los tholares de Santiago de Machaca han experimentado cambios irreversibles en su capacidad productiva

La comprobacion de la hipotesis central fue hecha mediante la prueba de dos sub-hipotesis

- Los monticulos ubicados bajo de los arbustos son vestigios del horizonte "A" que anteriormente se distribuia uniformemente sobre la superficie y pedogeneticamente se hallan relacionados con el material edafico inferior
- Las características edáficas de los monticulos son diferentes a las del horizonte superficial existente entre los arbustos desde el punto de vista de la fertilidad, infiltracion y características hidrológicas. Lo anterior implicaría una capacidad de producción distinta respecto a los monticulos

## **Objetivos**

El objetivo general fue

- Determinar si la ocurrencia de monticulos bajo de los arbustos es un indicador de degradación de los tholares de Santiago de Machaca (Altiplano Central)

Los objetivos específicos fueron

- Determinar la relación pedogenética entre los monticulos ubicados debajo los arbustos y el material edafico inferior
- Evaluar la diferencia de los monticulos y espacios interarbustivos en cuanto a características hidrológicas (tasas de infiltración y retención de humedad)
- Evaluar la diferencia de los monticulos y espacios interarbustivos en términos de fertilidad
- Establecer la proporción de la superficie cubierta por *Parastrephia lepidophylla* Wedd C, monticulos y espacios interarbustivos

## **Revisión de Literatura**

### **Determinación de la degradación y condición de praderas**

El nivel de degradación de una pradera puede ser evidenciado de diferentes maneras, pero los principales sistemas al respecto son el sistema del "climax" cuantitativo y las concepciones técnicas actuales

#### **El sistema del "climax" cuantitativo (convencional)**

De acuerdo al concepto de degradación desarrollado por Dyksterhuis (1949) y utilizado por varias agencias gubernamentales en los Estados Unidos (Smith 1988) y Australia (Wilson 1989), la condición de una pradera es función de la similitud entre la composición botánica de la pradera en cuestión y la composición botánica de la comunidad climax. Bajo este criterio la condición es medida por el porcentaje de discrepancia en composición botánica entre la pradera y la vegetación climax.

Para determinar el porcentaje de discrepancia en composición botánica entre la pradera y la vegetación "climax" se clasifican las especies de acuerdo a su respuesta al pastoreo (Dyksterhuis 1949). Especies que disminuyen en la proporción bajo pastoreo son clasificadas como "decrecientes", especies que aumentan de proporción bajo el pastoreo son clasificadas como "crecientes", y especies ausentes de la comunidad climax que invaden el sitio en respuesta al pastoreo son clasificadas como "especies invasoras".

De esta forma, una pradera que tiene de 75% a 100% de la vegetación climax en términos de las tres clases arriba mencionadas, se halla en excelente condición, entre 50% y 75% en buena condición, entre 25% y 50% en regular condición y entre 0 a 25% en una condición pobre.

Smith (1988) y Laycock (1991) han adelantado varias limitaciones de sistemas para la determinación de condición de praderas basados en el modelo de sucesión facilitativa. Estas limitaciones incluyen el hecho que ecosistemas en zonas áridas y semiaridas no siguen una trayectoria determinística hacia el "climax" (Westoby et al 1989), que el valor práctico de una comunidad vegetal puede ser independiente de un estadio sucesional, y que la composición botánica puede cambiar más en respuesta a factores abióticos (Ellis y Swift 1988).

#### **Concepciones técnicas actuales sobre la degradación de praderas**

Debido a las limitaciones del método del climax cuantitativo para la determinación de condición de praderas varios autores han propuesto modelos y definiciones alternativas de degradación. Abel y Blaikie (1989) definen degradación como una disminución permanente en la tasa con la cual se producen productos pecuarios debajo de un sistema de manejo determinado. Estos autores señalan que degradación tiene un efecto irreversible en el potencial de producción de la pradera.

Por otro lado, Queiroz (1993, 1994) argumenta que la condicion de una pradera no debe ser juzgada desde el punto de vista de un solo producto. Su posicion respecto a este topico se basa en el hecho de que las praderas nativas tienen varias funciones y que la produccion de un producto es influenciada por un gran numero de variables ademas de la condicion de la pradera. Por estas razones, Queiroz (1994) y Society of Range Management (1991) sugieren que la condicion de las praderas debe ser evaluada desde el punto de vista de procesos y características fundamentales para el funcionamiento adecuado del ecosistema. Sin embargo, esto no excluye la posibilidad de que el valor de la vegetacion presente sea juzgada desde el punto de vista de su potencial de produccion de los productos de interes.

### **Indicadores de degradación de praderas**

Existen tres grupos de indicadores de degradacion (Behnke y Scoones 1993)

- **Cambios en los suelos**

- Reduccion de la fertilidad
- Reduccion de la capacidad de retencion de agua
- Reduccion de la infiltracion
- Perdida significativa de suelo en exceso con relacion a la formacion

- **Cambios en la vegetación**

- Cambios en la produccion vegetal
- Cambios en la cobertura vegetal
- Cambios en la composicion vegetal especifica de uso para los animales
- Cambios en el estado de la vegetacion, resultando en la reduccion de la produccion de forraje

- **Cambios en la producción ganadera**

- Condicion de los animales
- Dinamica poblacional
- Produccion de leche

### **Degradación de praderas Altiplánicas**

Alzerreca (1992) indica que la tala de arbustos y otros vegetales para combustible y construcciones no permite una revegetacion natural equilibrada, lo que se esta resultando en un proceso de desertificacion alarmante. El mismo autor clasifica la condicion ecologica de las praderas del Altiplano de regular, con hectareaje significativo de bofedales dañados por pastoreo mixto y continuo, severa disminucion de la produccion herbacea por la falta de infiltracion de agua debida a la compactacion del suelo e inicio de erosion acelerada en laderas cultivadas y desforestadas.

Blanco (1971) y Posnansky (1982) califican al Altiplano como un ecosistema degradado. Ellos atribuyen esta situación principalmente al sobrepastoreo y al corte excesivo de leña.

### **Principales factores como causa de degradación de las praderas altiplánicas**

El sistema de tenencia de tierras, el sobrepastoreo y la deforestación son los factores más importantes en la degradación de las praderas Altiplánicas.

En muchas comunidades Andinas las tierras de pastoreo son de propiedad comunal pero el uso o usufructo es individual. De acuerdo con Alzerreca y Jerez (1989), esta es una de las causas del deterioro y sobreexplotación de los recursos de praderas nativas. Esta posición se basa en el argumento de Hardin (1968) de acuerdo a lo cual el pastoreo de rebaños privados en tierras comunales resulta en la maximización del tamaño de los rebaños porque el costo de producción es pasado a la comunidad y el lucro al dueño de los animales. Sin embargo, otros autores (Guilley y Jamtgaard 1981) han cuestionado la validez de este argumento.

Varios autores (Le Baron et al 1979, Parker 1975 y Stevens 1975) indican que las áreas de pastoreo son pastoreadas en años sucesivos y durante todo el año por un número elevado de ovejas. Esta práctica resulta en áreas descubiertas de los pastizales que son probablemente la indicación más obvia de la presión sobre este recurso natural. El sobrepastoreo colectivo de los campos de pastoreo es debido al incentivo de mantener rebaños numerosos para el beneficio y garantía de la familia y al hecho de que la erosión a nivel de comunidad no es percibida como una amenaza (Le Baron et al 1979).

El sobrepastoreo y la sobreutilización de la pradera nativa altiplánica es un fenómeno evidente. Sin embargo, esta práctica no está basada en la falta de conocimiento de los agricultores sobre la dinámica de la pradera. Es más bien el resultado de una compleja interacción de factores exógenos a la tenencia de la tierra, presión de la población sobre la pradera y aspectos socioculturales (Alzerreca 1992).

El sobrepastoreo en el Altiplano se manifiesta de tres formas: (1) compactación del suelo, (2) erosión, (3) incremento de especies indeseables (Browman 1984). Orzag (1992) cita al sobrepastoreo dentro de los factores directos causantes de un aceleramiento y deterioro de las propiedades físicas del suelo. Los animales inciden negativamente sobre los suelos al compactarlos. Esto ocurre principalmente cuando el número de animales no corresponde y sobrepasa la capacidad real de carga que tiene una pradera o un pastizal. Además, al existir un uso selectivo de las especies.

Augstburger (1990) indica que el sobrepastoreo o la sobrecarga animal induce un proceso en el cual se incluyen la inmadurez fisiológica de las plantas, disminución de la renovación de las praderas, cambio en la composición botánica, reducción de cobertura, compactación del suelo, disminución de la infiltración de agua, aumento del escurrimiento y disminución de la cantidad y calidad forrajera. Alzerreca (1992) concluye que las praderas nativas están siendo sobreutilizadas y se encuentran en diferentes estados de **degradación**. Por lo tanto, están produciendo por debajo de su potencial natural. La tendencia a incrementar y mantener rebaños numerosos, se explica como una estrategia para eludir el riesgo de las sequías.

Salm (1983) señala que los suelos poco desarrollados suelen estar asociados con la acción humana. Este factor induce a que la vegetación presente estratos muy pobres por efecto del pastoreo excesivo el cual se intensifica en los terrenos en descanso ("barbecho"), compactando los suelos (Lieberman y Fisel 1983)

Lara y Alzerreca (1982), Seiber (1982) y Alzerreca (1986) sostienen que el viento constituye un factor erosivo importante. Su efecto es mayor en las áreas deforestadas y campos de cultivo.

### **Relación suelo vegetación**

El suelo es el medio en que las plantas obtienen el soporte mecánico y los nutrientes. Es así que el desarrollo y crecimiento adecuado de la vegetación se da en función a las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (FAO 1986)

Las plantas nativas se pueden reconocer como indicadores de las características de los suelos (Allison 1974). La vegetación por tanto permite la identificación de áreas homogéneas cuando estas se hallan en estado natural (Gasto et al 1992)

En los lugares sin vegetación existe una alta erosión hídrica y eólica como consecuencia de los fuertes vientos del Altiplano (Salm 1983). La cobertura vegetal protege el suelo evitando el impacto directo de las gotas de lluvia y aminorando el escurrimiento (Orsag 1992). Las plantas retienen el material transportado por el viento y el agua (Salm 1983). Esto se manifiesta alrededor de las tholas y manchas de pastos, donde se observa una acumulación de polvo depositado por el viento.

La condición de cualquier sitio pratero está basada principalmente en dos grupos de factores vegetales y edáficos. La erosión del suelo está íntimamente asociada con una condición pobre y muy pobre de una pradera. Plantas en pedestal, pequeñas cárcavas, pavimento de erosión y movimiento de suelo, acumulación de ripio y arena, todo esto indica condición no satisfactoria de la pradera (Gasto et al 1992)

Según Gasto et al (1992) algunas características generales del suelo, relaciones hídricas y de erosión de praderas en condición muy pobre son las siguientes:

- Deficiencia de suelo orgánico en la capa superior que permitiría una rápida infiltración del agua
- Deficiencia de humus y nutrientes
- Extensas áreas de suelo desnudo, sin cubierta vegetal
- Excesivo escurrimiento superficial del agua de lluvia, lo que generalmente ocasiona un alto contenido de limo y arcilla
- Lenta penetración de la humedad en el suelo y baja capacidad de retención hídrica
- Erosión severa de la capa superior del suelo

## Materiales y Métodos

### Localización

El presente estudio se realizó en las comunidades de Ocata y Winto, aledañas a Santiago de Machaca, capital de la Provincia José Manuel Pando, Departamento de La Paz (figura 1). Geográficamente el área de estudio se encuentra a 17°04' de latitud sur y 69°12' longitud oeste. La altitud promedio de la zona es de 3980 msnm.

### Clima

La precipitación media anual (1979-1990) es de 440 mm. De acuerdo a Thornthwaite y Mather (1955) la evapotranspiración potencial excede la precipitación de marzo a diciembre. La temperatura ambiente media anual es de aproximadamente 8°C. La temperatura máxima promedio anual es de 17.55°C y la mínima promedio anual es de -2.45°C. Los meses de temperatura elevada coinciden con la estación de lluvias (diciembre-marzo).

La máxima incidencia de heladas ocurre durante el mes de agosto y la mínima durante el mes de enero. Sin embargo, es posible la ocurrencia de heladas en cualquier mes del año. La velocidad del viento cambia a lo largo del año. En el periodo de diciembre a mayo prevalecen vientos dirigidos hacia el sur a una velocidad media que varía de 1.2 a 11.3 km/h y como segundo componente en importancia, vientos dirigidos hacia el norte. Durante el periodo comprendido entre los meses de junio a noviembre prevalecen los vientos dirigidos hacia el sur a una velocidad que varía de 1.5 a 12.1 km/h, existiendo otros componentes de importancia dirigidos hacia el norte, oeste y sur-oeste.

### Geomorfología y suelos

El área de estudio se ubica mayormente sobre una llanura aluvial. En esta superficie se encuentran remanentes de terrazas aluviales de un periodo pluvial anterior. Se pueden encontrar los siguientes grupos de suelos: Luvisoles, Fluvisoles y Cambisoles. Mientras existe menor ocurrencia de Solonchaks y Chernozems.

### Vegetación

Dos tipos fisionómicos de vegetación son predominantes en el área de estudio: tholares (*Parastrephia lepidophylla*) y gramadales (*Muhlenbergia spp.*). Los tholares predominan en áreas relativamente bien drenadas, mientras que los gramadales predominan donde la napa freática se ubica en profundidades inferiores a 2 m durante la época de lluvias.

Dos tipos de tholares son fácilmente distinguibles debido a claras diferencias en cuanto a la densidad y cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla* (thola). Los tholares que se hallan sobre la unidad geomorfológica en forma de terraza aluvial tienen una densidad y cobertura escasa en comparación con los tholares presentes en el abanico aluvial. Esas diferencias en los parámetros de esta especie arbustiva solo son parcialmente acompañadas por diferencias en la composición botánica del estrato herbáceo.

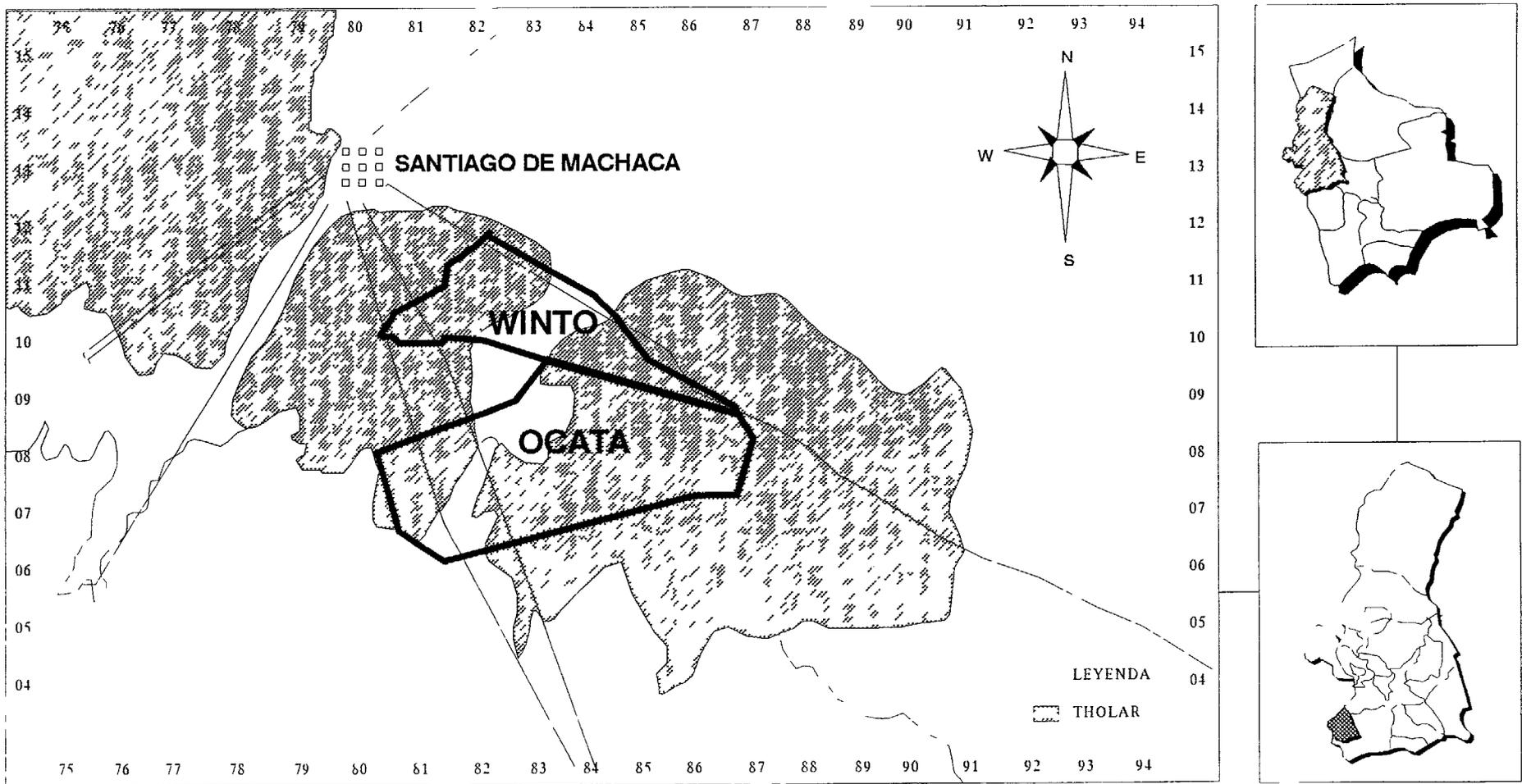


Figura 1 Mapa de ubicacion de las comunidades de Ocata y Winto Santiago de Machaca Departamento de La Paz

Los tholares ubicados en los Luvisoles incluyen especies tales como *Festuca orthophylla*, *Muhlenbergia peruviana*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Azorella densa*, *Junelia minima*, *Nasella publiflora*, *Stipa sp* y *Tetraglochin cristatum*. Los tholares ubicados sobre la terraza aluvial son más densos y presentan las mismas especies pero en proporciones más elevadas.

### **Elección de los sitios de muestreo**

Las áreas de estudio fueron seleccionadas subjetivamente para representar dos manchas extensas de tholares. La primera estaba ubicada en suelos de textura liviana a media, situados en una unidad deposicional en forma de terraza aluvial y ubicados en las tierras de la comunidad de Winto. La segunda en suelos de textura media a pesada, que ocurren en una unidad deposicional en forma de abanico y ubicados en la comunidad de Ocata. Cada una de las áreas de muestreo cubrieron una extensión aproximada de 2500 m<sup>2</sup>.

La selección subjetiva de áreas representativas es ampliamente utilizada para el muestreo de vegetación (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974) y estudios de génesis de suelos.

### **Caracterización de la vegetación**

Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros vegetacionales: densidad, estructura vertical y cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla* y cobertura vegetal de los espacios interarborescentes.

### **Caracterización de los suelos**

Se hizo una caracterización morfológica, físico-química e hidrológica de los suelos del montículo y espacio interarborescente.

Dentro de cada área de muestreo se ubicaron dos calicatas adyacentes, una bajo un conglomerado de *Parastrephia lepidophylla*, sobre un montículo y la otra en el espacio interarborescente. Ambas calicatas (montículo y espacio interarborescente) fueron descritas en detalle de acuerdo a la metodología para descripción de perfiles propuesta por la FAO (1977). Provenientes de cada horizonte de los perfiles, se hizo la toma de muestras para el análisis físico-químico de suelos en el cual se determinaron la densidad aparente, textura, nitrógeno total, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica, sodio, calcio, magnesio y potasio.

Para el estudio de las velocidades de infiltración en cada sitio de muestreo se realizaron pruebas de infiltración en montículos y en espacios interarborescentes. Estas fueron descritas gráficamente por el método de mínimos cuadrados ponderados de las distancias promedio utilizando el paquete estadístico computarizado "SYSTAT" (Systat, Inc., Evanston, Illinois).

También se determinaron las curvas de retención de humedad tomando tres muestras no alteradas de suelos de los horizontes superficiales de montículos y espacios interarborescentes.

## **Relacion pedogenetica**

La investigacion de la relacion pedogenetica entre los monticulos y el material edafico inferior mediante la identificacion de discontinuidades litologicas siguio normas aceptadas por la disciplina de la genesis del suelo. Esto se realizo mediante la investigacion de cambios abruptos en la granulometria de los perfiles (Stolt et al 1993) mediante un analisis de conglomerados en el cual los horizontes fueron tratados como objetos y las fracciones granulometricas como atributos. Se determino la ocurrencia de una discontinuidad cuando dos horizontes adyacentes fueron designados por el analisis a dos conglomerados distintos. La exclusion de parametros susceptibles a cambios por los procesos de formacion de suelos aseguro que las discontinuidades litologicas retratan diferencias en el material parental.

El analisis de conglomerados fue realizado con SYSTAT. Como medida de similitud se utilizo el coeficiente euclidiano de distancias promedio ( $d_{jk}$ , Romesburg 1984) sin estandarizacion de los valores de los atributos.

La ubicacion de las calicatas fue hecha con fines representativos y el numero de perfiles por suelo restringido a uno. Tambien se tomo en cuenta la morfologia del perfil y los resultados de analisis quimicos para dilucidar aspectos de la genesis de los cuatro perfiles estudiados, en particular el contenido de  $\text{CaCO}_3$  equivalente y materia organica.

## Resultados y Discusión

### Densidad de *Parastrephia lepidophylla*

La densidad de *Parastrephia lepidophylla* en el area de suelos de la terraza aluvial fue de 5929 plantas por hectarea (pl/ha) mientras que en el area de suelos ubicados en el abanico fue de 11 071 4 pl/ha

Se nota que la densidad de *Parastrephia lepidophylla* en el abanico es 1 8 veces mas alta que la densidad de este arbusto en la terraza aluvial. Esto se debe al hecho que el suelo del abanico es mas fertil y que la tasa de extraccion de leña en la terraza aluvial es mas alta debido a su proximidad al pueblo de Santiago de Machaca

### Estructura vertical de *Parastrephia lepidophylla*

En general, la estructura vertical de *Parastrephia lepidophylla*, tanto en suelos de la terraza aluvial como del abanico, siguen una distribucion unimodal y esta compuesta mayormente por plantas maduras comprendidas entre los 41 a 60 centimetros de altura (figura 2). En los suelos de la terraza aluvial se puede notar que existe un reploblamiento de plantas de *Parastrephia lepidophylla* manifestado por la presencia de individuos de porte bajo (1 a 20 centimetros) con una densidad de 285 7 pl/ha

Segun Barrera (1994), la extraccion de plantas de *Parastrephia lepidophylla* para leña conduce a una remosion del suelo que incentiva la germinacion de plantulas. Segun esta afirmacion, en los suelos de abanico sucede lo contrario porque la proporcion de plantas de *Parastrephia lepidophylla* de porte bajo alcanza valores menores a 71 4 pl/ha, lo que indica que existe un menor replobamiento del arbusto

La presencia significativa de plantas de porte bajo en los suelos de la terraza aluvial indica que la poblacion de *Parastrephia lepidophylla* en esta unidad geomorfologica se halla en un proceso de repoblamiento de individuos. Sin embargo es necesario averiguar si la tasa de extraccion supera o no a la tasa de repoblamiento. En el caso del abanico, la estructura vertical de la poblacion de thola refleja una poblacion estable, donde la tasa de repoblamiento es minima

### Cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla*

La cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla* en el area de los suelos situados en la terraza aluvial fue de 19 9%. El area ocupada por espacios interarbustivos representa el 71 6% del suelo y la superficie del suelo ocupada por monticulos es del 28 4% (figura 3)

La cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla* en el area de los suelos situados en el abanico fue del 42 8%. El area ocupada por los espacios interarbustivos representa el 52% de la cobertura y la superficie del suelo cubierta con monticulos es del 48 3% (figura 3)

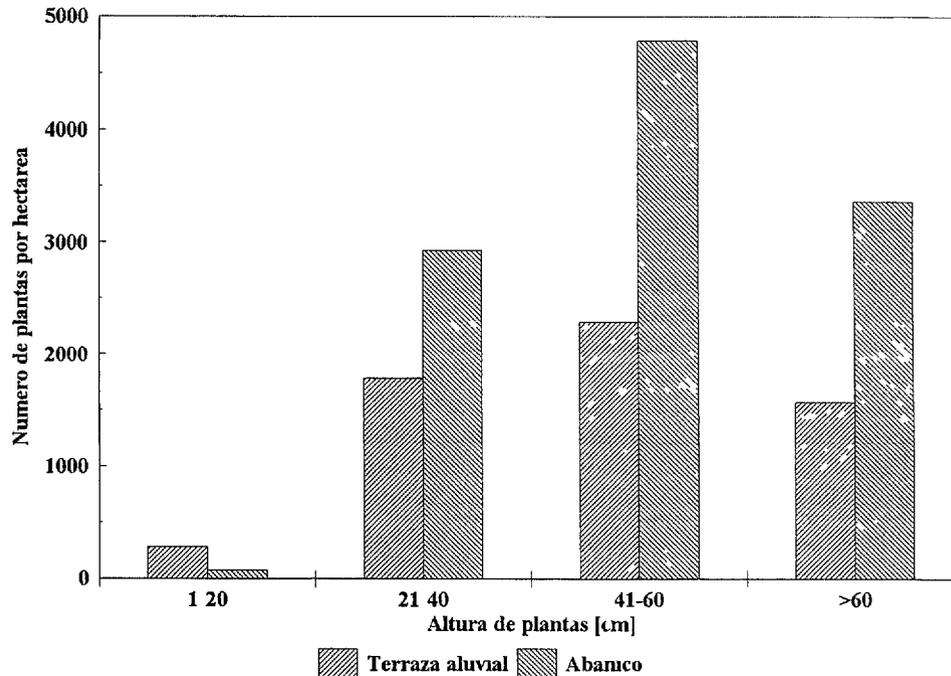


Figura 2 Estructura vertical de *Parastrephia lepidophylla* en el area de estudio en suelos de la terraza aluvial y suelos del abanico

La cobertura vegetal de *Parastrephia lepidophylla* no coincide exactamente con la superficie ocupada por los monticulos debido a que dentro de un monticulo pueden existir superficies sin cobertura vegetal o con cobertura vegetal de especies herbaceas. El porcentaje referido a monticulos tambien comprende la superficie donde existen extracciones evidentes de arbustos de *Parastrephia lepidophylla* para su utilizacion como leña.

En el caso de la terraza aluvial la discrepancia entre superficie ocupada por arbustos y monticulos es especialmente notable (8.5%). Esto se atribuye al hecho que en esta area la remosion de *Parastrephia lepidophylla* para combustible es una actividad continua, por lo que existen monticulos descubiertos debido a la extraccion de su cobertura vegetal.

### Cobertura vegetal de espacios interarbustivos

En los espacios interarbustivos de la terraza aluvial la cobertura vegetal es de 11.8%. Esta cobertura es aportada por las especies *Muhlenbergia peruviana* (4.2%), *Muhlenbergia fastigiata* (0.4%), *Junelia minima* (3.5%), *Nasella pubiflora* y *Stipa sp.* (3.5%) y *Bouteloua simplex* (0.2%).

En el suelo ubicado en el abanico la cobertura interarbustiva es de 19.2%. Dicha cifra esta compuesta a partir de las especies *Muhlenbergia fastigiata* (9.8%), *Junelia minima* (2.8%), *Nasella pubiflora* y *Stipa sp.* (6.1%) y *Bouteloua simplex* (0.5%).

Es importante mencionar que la proporción de suelo desnudo en los espacios interarbustivos alcanza valores de 86.4% en la terraza aluvial y 76.7% en el abanico aluvial. Estos porcentajes son altos en relación a los que corresponden a la cobertura vegetal de especies herbáceas, explicadas en el anterior párrafo.

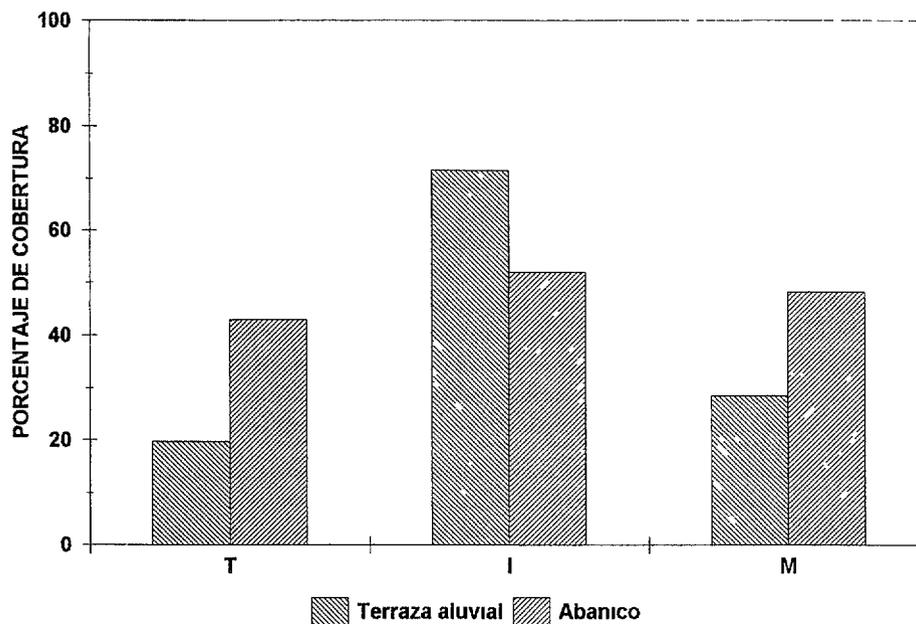


Figura 3 Cobertura de *Parastrephia lepidophylla* (T), espacio interarbustivo (I) y montículo (M) en el área de estudio en suelos de la terraza aluvial y suelos del abanico

### Morfología y características químicas de los suelos de la terraza aluvial

Los resultados de la caracterización morfológica y química muestran las diferencias existentes entre los espacios interarbustivos y montículos.

#### Morfología de los espacios interarbustivos

Las características morfológicas del perfil TI ubicado en el espacio interarbustivo adyacente al perfil TM, se presentan en el cuadro 1. El perfil presenta una secuencia de horizontes A, B y C con aparentes discontinuidades litológicas. El horizonte Ah1 tiene un valor y cromatismo relativamente elevados (10YR 5.5/4 pardo a pardo claro amarillento) en seco que descalifica a este horizonte como parte de un horizonte mólico. La estructura es fuerte en láminas medianas. Las únicas raíces encontradas son muy finas y pertenecen a especies anuales.

**Cuadro 1 Descripción del perfil del pedon TI en espacio interarbusivo, suelos de terraza aluvial**

Horizonte prof <sup>1</sup> (cm)	Color (seco / humedo)	Textura estructura consistencia	Características especiales
Ah1 <sup>2</sup> 0-5	10YR5 5/4(s) 10YR 3/4(h)	Franco estructura fuerte en laminas medianas estructura ligeramente adherente ligeramente plástico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcareo muchos poros muy finos muchas raíces muy finas limite abrupto y plano
Ah2 5 18	10YR 4 5/3 10YR 2/3	Franco arenoso estructura moderada en bloques subangulares medianos ligeramente adherente ligeramente plástico, friable en humedo duro en seco	No calcareo pocos poros medianos comunes poros finos pocas raíces medianas raíces finas comunes limite claro y ondulado
2AB 18-32	10YR 4/3 7 5YR 2 5/2	Franco arenoso 10% cantos rodados <1cm estructura moderada en bloques sub-angulares no adherente no plástico muy friable en humedo ligeramente duro en seco	No calcareo comunes poros finos raíces finas comunes y pocas raíces muy finas limite claro y ondulado
3Bw1 32 48	7 5YR 3 5/4 7 5YR 3/4	Arcilla arenosa, 5% cantos rodados <1cm, estructura fuerte en bloques angulares muy adherente y muy plástico, muy firme en humedo extremadamente duro en seco	No calcareo pocos poros medianos y pocos poros finos pocas raíces medianas y pocas raíces finas limite claro y ondulado
3Bw2 48-60	7 5YR 5/5 7 5YR 4/4	Franco arcillo arenoso 5% cantos rodados <1cm estructura moderada en bloques angulares gruesos adherente y plástico muy firme en humedo extremadamente duro en seco	No calcáreo pocos poros finos pocas raíces finas limite claro y ondulado
4Cu1 60-120	7 5 YR 5/4 7 5YR 4/4	Arena francosa 10% cantos rodados estructura debil en bloques angulares medianos no adherente y no plastico muy firme en humedo extremadamente duro en seco	Ningun poro ninguna raíz limite no determinado
4Cu2 120+	10YR 6/4 10YR 4/3	Franco limoso	

<sup>1</sup> prof = profundidad (cm)

El horizonte Ah2 se extiende desde los 5 hasta 18 centímetros de profundidad Tiene colores molicos, textura franco arenosa y estructura moderada en bloques sub-angulares La presencia de raíces esta restringida a raíces finas y medianas

Un horizonte de transición (2AB) separa el horizonte Ah del horizonte cambico el cual incluye dos sub-horizontes (3Bw1 y 3Bw2) y se extiende de los 32 a los 60 centímetros de profundidad. Tiene color rojizo (7YR 3/4), textura arcillo arenosa y estructura fuerte en bloques angulares en la parte superior. Por debajo del horizonte cambico se halla el horizonte 4C con estructura débil y características originarias del material parental.

### **Morfología de los montículos**

La descripción morfológica del perfil TM, ubicado sobre un montículo adyacente al perfil TI en la terraza aluvial, se presenta en el cuadro 2. El suelo presenta una secuencia de horizontes A, B y C y aparentes discontinuidades litológicas indicadas por los prefijos en numerales arábigos.

El horizonte Ah se extiende hasta los 22 centímetros de profundidad. Tiene textura franco arenosa y colores oscuros en seco (10YR 4/3 pardo oscuro a pardo) y húmedo (10YR 2 5/3 pardo oscuro) que satisfacen los requerimientos de un horizonte mólico. La estructura del sub-horizonte Ah1 es granular y del sub-horizonte Ah2 en bloques subangulares. El contenido de raíces es notable. Un horizonte transicional (2ABh1) separa el horizonte Ah del horizonte cambico (3Bw1). El horizonte 2ABh1 tiene colores mólicos y estructura en bloques moderadamente desarrollada. La presencia de raíces finas, medianas y gruesas es notable. El horizonte cambico (3Bw) tiene color rojizo (7 5YR) y textura franco arcillosa con estructura fuerte en bloques angulares, denotando un estadio de desarrollo relativamente adelantado. La cantidad de raíces es notablemente menor que en el horizonte Ah. El horizonte 4Cu1 tiene estructura débil y desarrollo insipiente, lo mismo pudiendo afirmarse sobre el horizonte 5Cu2.

### **Comparación morfológica entre los perfiles TI y TM**

Las secuencias de horizontes genéticos de ambos perfiles son análogas. En ambos casos un horizonte Ah es separado de un horizonte Bw por un horizonte transicional ABh. Sin embargo, las diferencias morfológicas entre los horizontes Ah y ABh de los dos perfiles son notables.

El horizonte Ah1 del perfil TM, el cual corresponde al montículo, tiene 10 centímetros de espesor y estructura granular. En contraste, el horizonte Ah1 del perfil TI tiene estructura laminar y apenas 5 centímetros de espesura. Además de esta diferencia, se nota que el horizonte Ah1 del perfil TM es más oscuro (10YR 2/3 pardo muy oscuro en húmedo) que su contraparte del perfil TI (10 YR 3/4 pardo oscuro amarillento en húmedo). Esta diferencia en colores también está relacionada a un mayor contenido de materia orgánica.

Diferencias notables también existen en consistencia y contenido de raíces. El horizonte Ah1 del perfil TM es friable en seco y contiene abundantes raíces mientras que la consistencia del horizonte Ah1 del perfil TI es duro en seco y su contenido de raíces restringido a muchas raíces muy finas, principalmente de especies anuales (e.g. *Muhlenbergia peruviana*).

**Cuadro 2 Descripción del perfil del pedon TM en el montículo, suelos de la terraza aluvial**

Horizonte prof <sup>1</sup>	Color (seco / humedo)	Textura estructura, consistencia	Características especiales
Ah1 <sup>2</sup> 0-10	10YR 4/3 10YR 2/3	Franco arenoso, estructura moderada granular mediana no adherente ligeramente plástico muy friable en humedo suave en seco	No calcáreo abundantes poros finos y muchos poros medianos abundante raíces muy finas y muchas raíces medianas límite claro y ondulado
Ah2 10 22	10YR 4/3 10YR2 5/3	Franco arenoso estructura en bloques subangulares medianos no adherente ligeramente plástico muy friable ligeramente duro no calcáreo	Muchos poros medianos comunes poros finos y gruesos muchas raíces medianas raíces gruesas comunes y finas límite claro y ondulado
2ABh1 22 41	10YR 4/3 7 5YR 3/2	Franco, 10% cantos rodados <1cm estructura en bloques sub angulares medianos ligeramente adherente y ligeramente plástico friable ligeramente duro	No calcáreo muchos poros medianos comunes poros finos y gruesos muchas raíces medianas raíces finas comunes y gruesas límite claro y ondulado
3Bw1 41-65	7 5YR 5/4 7 5YR 3/4	Franco arcilloso 5% cantos rodados estructura fuerte en bloques angulares medianos adherente y muy plástico muy firme en humedo extremadamente duro en seco	Comunes poros finos y pocos medianos raíces finas comunes y pocas medianas límite claro y ondulado
4Cu1 65-94	7 5YR 6/4 7 5YR 4/4	Franco arcillo arenoso 5% cantos rodados estructura débil en bloques angulares gruesos ligeramente adherente plástico firme en humedo muy duro en seco	-
5Cu2 94-110	10YR 6/3 10YR 3/4	Arena franca estructura débil en bloques angulares medianos no adherente no plástico firme en humedo extremadamente duro en seco	Sin raíces límite no determinado

<sup>1</sup> prof = profundidad (cm)

El horizonte Ah2 en el perfil TM contiene muchos poros medianos mientras que su contraparte del perfil TI tiene pocas medianas. Diferencias también existen en términos del contenido de raíces y consistencia. La espesura de los 2 horizontes es similar.

Las diferencias entre horizontes análogos se extienden a través del horizonte AB. Este horizonte en el perfil TM (ABh1) contiene muchas raíces y muchos poros medianos mientras que su contraparte en el perfil TI (AB1) no contiene poros o raíces medianas.

Las diferencias entre horizontes analogos de los dos perfiles disminuyen en el horizonte 3Bw Sin embargo es importante notar que el horizonte 3Bw1 del perfil TM empieza 9 centimetros a mas profundidad que el horizonte 3Bw1 del perfil TI Esta diferencia equivale a la espesura del monticulo, el cual constituye el horizonte Ah1 del perfil TM Las diferencias en contenido de raices y porosidad persisten

### **Nitrogeno**

El horizonte Ah1 del perfil TM (monticulo) contiene 0 23% de nitrogeno mientras que su contraparte del perfil TI (espacio interarbustivo) presenta apenas 0 16% El horizonte Ah2 del espacio interarbustivo y del monticulo tienen un contenido de nitrogeno semejante (0 14% y 0 15% respectivamente) Por ultimo el horizonte transicional 2AB presenta en el espacio interarbustivo 0 10% de nitrogeno y en monticulo 0 07% (figura 4a)

### **Fosforo**

La distribucion del fosforo (P) en los espacios interarbustivos presenta valores que son superados por los del monticulo en los tres primeros horizontes (Ah1, Ah2 y 2AB) La diferencia es mas acentuada entre los horizontes Ah1 de los dos perfiles, observandose una fuerte reduccion en el contenido de N entre los horizontes Ah1 y Ah2 del perfil TI (interarbusto) En los horizontes inferiores la diferencia se hace menor (figura 4b)

### **Materia orgánica**

La diferencia en el contenido de materia organica entre los horizontes Ah1 del suelo en el monticulo y espacio interarbustivo es marcada (figura 4c) En primera instancia, el contenido de materia organica atinge 4 09%, 3 1 veces mas que el contenido de este componente en el horizonte Ah1 en el espacio interarbustivo Esta diferencia persiste entre los horizontes Ah2 de los perfiles, 2 68% en el caso del monticulo y 0 89% en el caso del espacio interarbustivo La diferencia en el contenido de materia organica entre los perfiles disminuye en el horizonte 2AB (0 59%) y 2ABh (0 80%) y virtualmente desaparece a partir de los horizontes 3Bw

La acentuada diferencia en el contenido de materia organica entre los dos perfiles sugieren que los factores que intervienen en la acumulacion de materia organica actuan diferentemente sobre estos suelos por un periodo de tiempo prolongado El establecimiento de una cifra absoluta se hace dificil debido a la falta de estudios en genesis de suelo en el Altiplano

### **Carbonatos**

Segun la figura 4d se observa que el contenido de carbonatos es mas alto en el horizonte Ah1 que en los horizontes inferiores indicando un proceso corriente de acumulacion de estos minerales Arriba de los 6 centimetros el porcentaje de carbonato en el perfil TM se mantiene por encima del porcentaje de carbonato del perfil TI Esta diferencia sugiere que la vegetacion asociada al monticulo favorece la deposicion e iluviacion de carbonatos en comparacion con los espacios interarbustivos

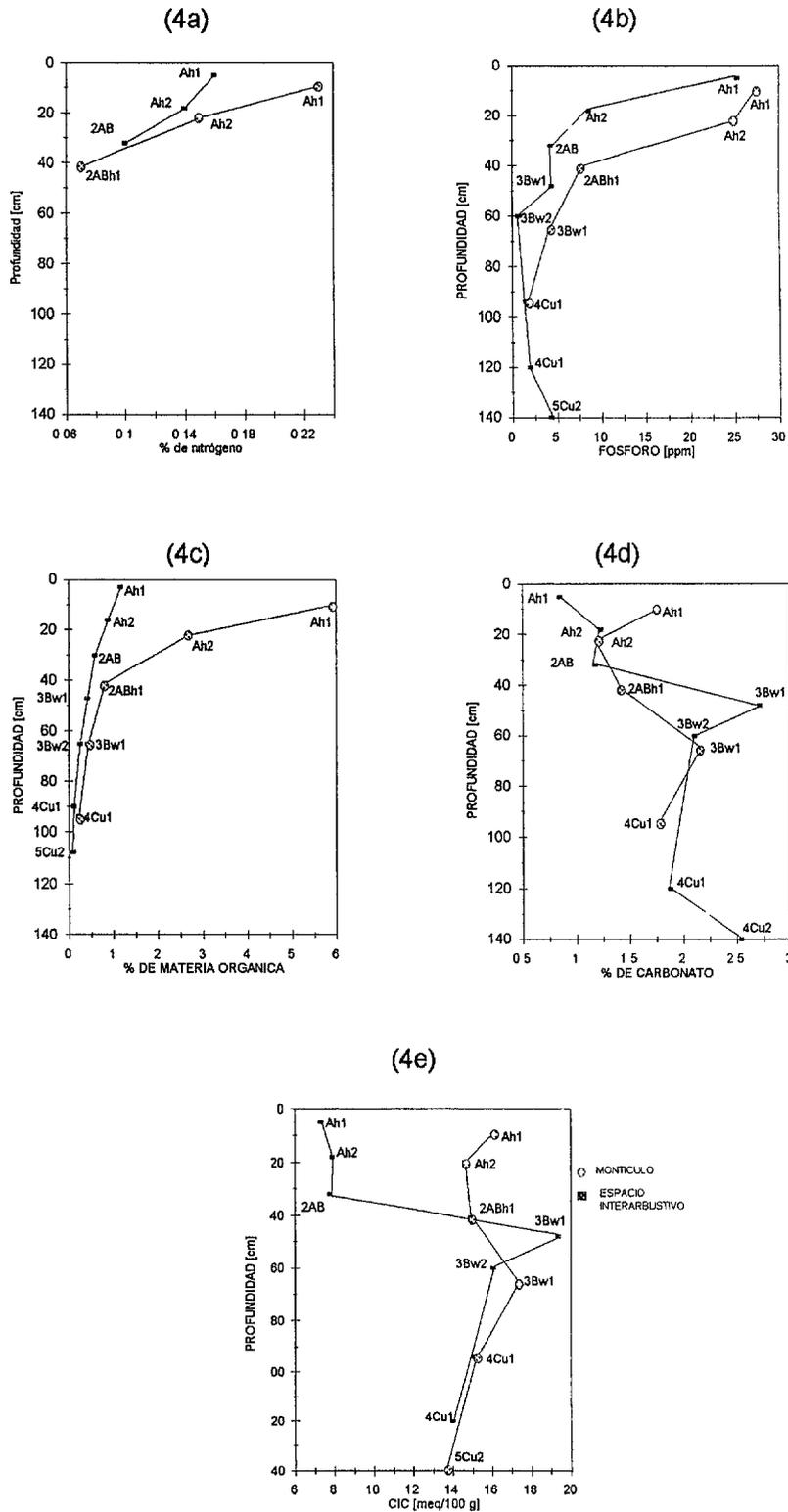


Figura 4 Contenido de nitrógeno (4a), fósforo (4b), materia orgánica (4c), carbonatos (4d) y capacidad de intercambio catiónico (4e) por horizontes de los montículos y espacios interarbustivos del sitio de muestreo en la terraza aluvial

Tambien se nota que la zona de máxima acumulacion de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) en el perfil TM ocurre a 9 cm mas de profundidad en relacion al perfil TI

### Capacidad de Intercambio catiónico

Los valores que presenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los horizontes Ah1, Ah2 y 2AB del perfil TM (monticulos) son superiores en mas del 100% que los homologos del perfil TI (espacios interarbustivos) La diferencia se hace menor en los horizontes mas profundos (figura 4e)

### Granulometria

Segun el cuadro 3 el horizonte Ah1 del perfil TI tiene un contenido de limo (31%) notablemente mas elevado que el del horizonte inferior Ah2 (22%) y del horizonte Ah1 del perfil TM (19%) Esta diferencia en el contenido de limo es acompañada por diferencias en el contenido de arena A partir del horizonte Ah2, las diferencias en textura entre perfiles son mínimas Ambos presentan un incremento acentuado en arcilla en el horizonte Bw, el cual en el perfil TM empieza a 4 centímetros de mayor profundidad

**Cuadro 3** Contenido de arena, limo y arcilla por horizontes (%) en los espacios interarbustivos y monticulos en los suelos ubicados en la terraza aluvial<sup>1</sup>

Horizonte	ESPACIO INTERARBUSTIVO				Horizonte	MONTICULO			
	Arena	Arcilla	Limo	Textura <sup>2</sup>		Arena	Arcilla	Limo	Textura
[cm]	[%]				[cm]	[%]			
Ah1	48	21	31	F	Ah1	67	14	19	FA
0-5	45	24	31	F	0-10	62	17	21	
Ah2	59	19	22	FA	Ah2	64	14	22	FA
5-18	54	19	27		10-22	58	17	25	
2ABh1	67	19	14	FA	2ABh1	66	19	15	FA
18-32	68	18	14		22-41	65	20	15	
3Bw1	49	40	11	YA	3Bw1	53	37	10	YA
32-48	50	41	9		41-65	52	38	10	
3Bw2	54	29	17	FYL	4Cu	71	20	9	FA
48-60	63	25	12		65-94	65	29	6	
4Cu1	84	13	3	AF	5Cu2	79	12	9	AF
60-120	82	15	3		94-110	80	12	8	
5Cu2	17	17	66	FL					
120+									

<sup>1</sup> Resultados de dos analisis consecutivos

<sup>2</sup> F=Franco Y=Arcilla A=Arena L=Limo

El mayor contenido de limo del horizonte Ah1 del perfil TI en composicion con su horizonte Ah2 y el horizonte Ah1 del perfil TM es curioso La atribucion de esta diferencia a un proceso de deposicion preferencial respecto a los monticulos debe ser descartada debido al hecho que el espacio interarbustivo se encuentra en una situacion micro-topografica inferior

El contenido relativamente elevado de limo del horizonte Ah1 del perfil TI resulta posiblemente de la reorganizacion de las particulas mediante el impacto de las gotas de lluvia, el cual resulta en la segregacion preferencial de las particulas de arena hacia la superficie y su eventual remosion por el agua y viento Este proceso resulta en la formacion de la estructura laminar La identificacion de discontinuidades se discute mas atras

### Densidad aparente (Da)

Se nota que el horizonte Ah1 de los monticulos presenta menor densidad aparente si se comparan con el horizonte homologo de los espacios interarbustivos (cuadro 4) Esta diferencia se hace menor con la profundidad

**Cuadro 4 Densidad aparente en espacios interarbustivos y monticulos de la terraza aluvial**

ESPACIO INTERARBUSTIVO		MONTICULO	
Horizonte	Da [g/cm <sup>3</sup> ]	Horizonte	Da [g/cm <sup>3</sup> ]
Ah1	1 25	Ah1	0 74
Ah2	1 18	Ah2	1 20
2AB	1 10	2ABh1	1 09

### Discontinuidades litológicas

El analisis de conglomerados, en el cual los horizontes fueron tratados como objetos y las fracciones granulometricas (arena, limo, arcilla y fracciones de arena) sus atributos, produjo 4 conglomerados (figura 5) el conglomerado I formado por los horizontes Ah de los perfiles TM y TI, el conglomerado II formado por los horizontes 2AB de los dos perfiles y el horizonte 5Cu2 del perfil TM, el conglomerado III por los horizontes cambicos (3Bw) de los perfiles, y el conglomerado IV por los horizontes 4C

Los 4 conglomerados representan grupos de horizontes con granulometria semejante (Stolt et al 1993) Esto es un fuerte indicador de que los horizontes que pertenecen al mismo conglomerado son derivados de material parental con caracteristicas semejantes Por otro lado, horizontes ubicados en conglomerados diferentes son derivados de materiales parentales distintos Asi, la ubicacion de dos horizontes verticalmente adyacentes en diferentes conglomerados señalan la existencia de discontinuidades litologicas La presencia del horizonte 5Cu2 en el conglomerado II indica que este deposito tiene granulometria semejante a la de los horizontes 2AB

El conglomerado I esta compuesto por los sub-horizontes Ah de los dos perfiles. Esto indica que no existen discontinuidades litológicas en la parte superior de los perfiles. En el caso del perfil TM este estrato litológico se extiende hasta los 22 cm e incluye el montículo representado por los sub-horizontes Ah1 y Ah2. En el caso del perfil TI el estrato superior atinge 18 cm de profundidad, 4 cm menos que del estrato superior de su par. El hecho de que los horizontes Ah de los dos perfiles forman parte del mismo conglomerado sugiere un origen común para sus estratos superiores.

La primera evidencia clara de discontinuidad litológica en los dos perfiles ocurre entre los horizontes Ah2 y 2AB. En términos de granulometría, la diferencia entre estos dos depósitos es retratada por un mayor contenido de arena gruesa (2-1 mm) en el horizonte 2AB.

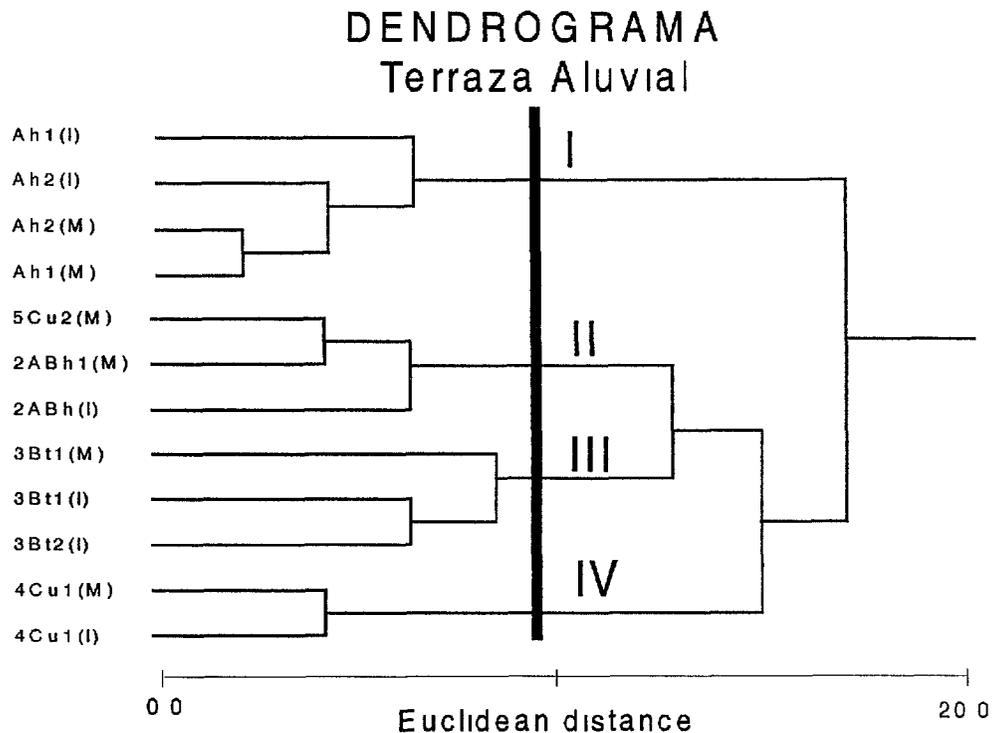


Figura 5 Analisis de conglomerados segun horizontes como objetos y fracciones granulométricas como atributos para los suelos de la terraza aluvial

## Características hídricas

### Infiltración

Según las pruebas pareadas de "t de Student", durante el primer intervalo de tiempo analizado (0-5 min) existe diferencia significativa entre la velocidad de infiltración de los dos perfiles ( $P < 0.1$ , cuadro 5). Durante los siguientes intervalos de tiempo analizados (10-20, 20-40 y 40-60 min) existe una diferencia significativa en la velocidad de infiltración ( $P < 0.05$ , cuadro 5). Esto debido a que principalmente la variabilidad es menor durante las etapas de tiempo posteriores. Sin embargo, la mayor variación de la velocidad de infiltración se puede notar dentro del grupo de los montículos debido a la diversidad de poros encontrados en los horizontes superiores de estos suelos.

**Cuadro 5 Pruebas pareadas de "t de Student" por una cola entre velocidades de infiltración en montículos y espacios interarbustivos en los suelos de la terraza aluvial**

Intervalo de tiempo [min]	n	IM <sup>1</sup> [cm/h]	II [cm/h]	t	tc(P<0.05)	tc(P<0.10)
0-5	4	59.4	10.8	2.04	2.35ns	1.63*
5-10	4	47.7	7.2	2.53	2.35*	1.63*
10-20	4	46.95	7.65	2.42	2.35*	1.63*
20-40	4	44.52	6.2	2.93	2.35*	1.63*
46-60	4	38.56	5.4	2.61	2.35*	1.63*

El comportamiento de la curva de velocidad de infiltración a partir de un ajuste al 95% de nivel de confianza de los datos observados en campo demuestra una mayor variación en montículos. En los espacios interarbustivos la variabilidad es menor debido a las características más homogéneas que se presentan dentro de este grupo. En la figura 6 se muestra el ajuste de las curvas de velocidades de infiltración por pares.

<sup>1</sup>IM = Velocidad de infiltración promedio en montículos II = Velocidad de infiltración promedio en espacios interarbustivos \* = diferencia significativa ns = no significativo obs = número de observaciones t = t calculado tc(P<0.05) = t crítico para un nivel de significancia de 0.05 tc(P<0.1) = t crítico para un nivel de significancia de 0.10

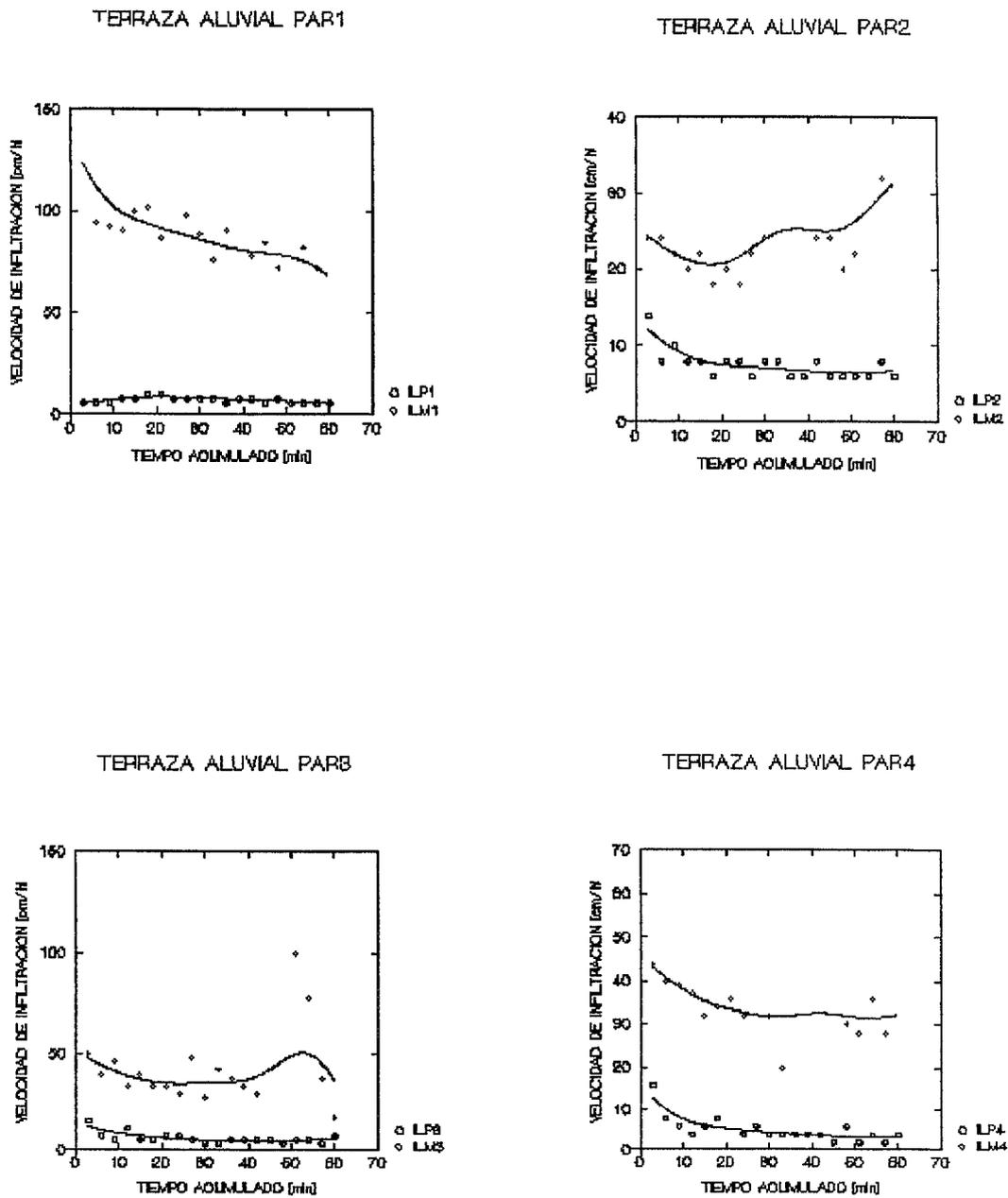


Figura 6 Curvas de ajuste de las velocidades de infiltracion por pares aledaños infiltrados en monticulos y espacios interarbustivos de la terraza aluvial

## Retención de humedad

Como se puede notar en la figura 7, las características presentadas por los espacios interarbustivos y los montículos en cuanto a la curva retención de la humedad son diferentes. En el espacio interarbustivo, a un pF de 1,7, el porcentaje de humedad es menor (20%) que en el montículo (30%). A medida que el pF sube, la diferencia se hace menor hasta que el pF es igual a 5 donde se encuentra una similitud entre ambas curvas. La disponibilidad de humedad en el montículo es mayor en comparación al interarbusto.

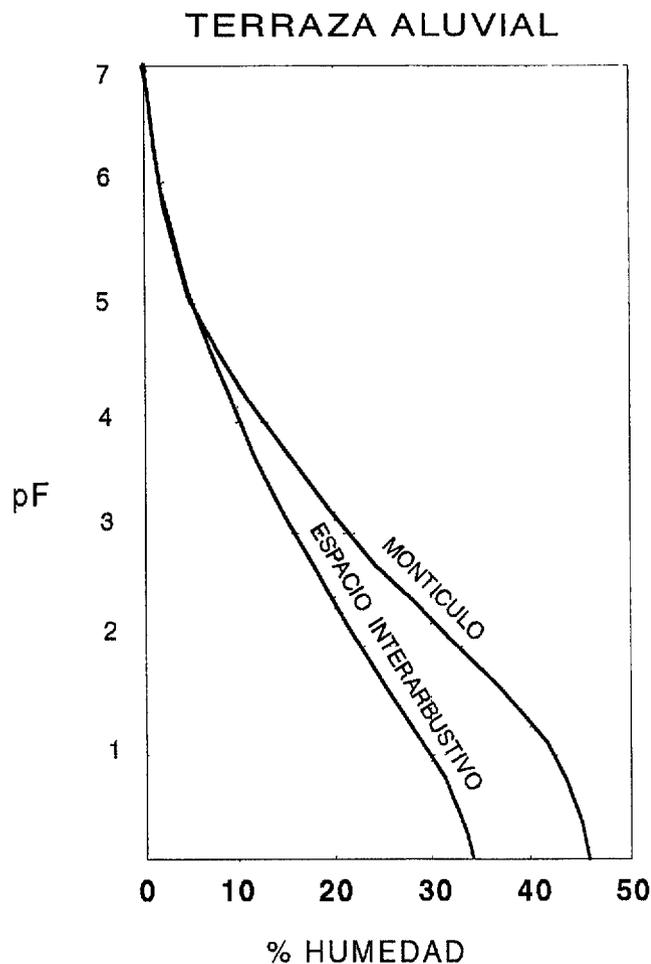


Figura 7 Curvas de ajuste de la retención de la humedad en espacios interarbustivos y en montículos en el área de los suelos ubicados en la terraza aluvial

## **Clasificación de los suelos de la terraza aluvial**

### **Espacio interarbustivo**

Los suelos de la terraza aluvial que ocupan los espacios interarbustivos tienen un horizonte A ocríco a pesar de su coloración molica. Esto se debe al hecho que el contenido de materia orgánica es inferior al 1% a partir de los 5 cm de profundidad. El horizonte B es calificado como cambico.

La saturación de bases supera el 50% ( $\text{pH} \approx 7.0$ ). Estas características sitúan los suelos del espacio interarbustivo de la terraza aluvial dentro del grupo de los Cambisoles del sistema FAO/UNESCO (FAO 1988). A nivel de unidad el suelo es un Cambisol eutríco en el sistema de la FAO/UNESCO.

### **Montículos**

Los suelos asociados con montículos tienen un horizonte A molico. Esta característica combinada con cromas superiores a 2 y la ausencia de un horizonte calcíco (depósitos de  $\text{CaCO}_3$ ), ubican a los suelos del montículo dentro del grupo de los Phaeozems del sistema de la FAO/UNESCO (FAO 1988). La presencia de un horizonte cambico determina que los suelos asociados a los montículos de la terraza aluvial pertenecen a la unidad de los Phaeozems Haplícos de acuerdo al sistema de la FAO/UNESCO.

## **Morfología y características químicas de los suelos del abanico**

Los resultados de la caracterización morfológica y química muestran las diferencias existentes entre los espacios interarbustivos y montículos.

### **Morfología de los espacios interarbustivos**

El perfil presenta una secuencia de horizontes A, B y C con varias discontinuidades litológicas (cuadro 6). El horizonte Ah1 tiene una cromá que satisface los requerimientos exigidos por un horizonte molico. La estructura es fuerte en láminas medianas. Las raíces encontradas son finas y medianas.

El horizonte Ah2 llega hasta 16 centímetros de profundidad. Tiene colores molícos (cromá y valor menores a 3.5 en húmedo), textura arcillosa y estructura fuerte en bloques sub-angulares y bloques angulares finos. La presencia de raíces está restringida a raíces finas y medianas.

Un horizonte de transición (2ABh1) separa el horizonte Ah del horizonte cambico (3Bw1 y 3Bw2) que se extiende de 30 a 60 centímetros de profundidad. Tiene color rojizo, textura franco arcillo arenosa y estructura fuerte en bloques angulares gruesos. Por debajo del horizonte cambico se halla el horizonte C con 2 sub-horizontes (3Cu1 y 3Cu2).

**Cuadro 6 Descripción del perfil del pedon AI en el espacio interarbustivo en suelos del abanico**

Horizonte prof <sup>1</sup> (cm)	Color	Textura estructura consistencia	Características especiales
Ah1 0-3	10YR 4/3 10YR 2 5/2	Arcilloso estructura laminar mediana fuerte adherente y plástico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcáreo pocos poros finos raíces finas y medianas comunes límite claro y ondulado
Ah2 3-16	7 5YR 4/2 7 5YR 3 5/2	En humedo, arcilloso estructura fuerte en bloques subangulares medianos y bloques angulares finos muy adherente y muy plástico muy firme en humedo extremadamente duro en seco	No calcareo poros medianos comunes y muchos finos raíces finas comunes y pocas raíces gruesas límite claro y ondulado
2ABh1 16-30	10YR 4 5/3 7 5YR 3 5/2	Franco arcillo arenoso 5% fragmentos finos estructura fuerte en bloques angulares gruesos, adherente y plástico firme en humedo muy duro en seco	No calcáreo pocos poros finos pocas raíces finas límite claro y ondulado
3Bw1 30-47	7 5YR 5/4 7 5YR 3/4	Franco arcillo arenoso 20% cantos rodados <1cm en diámetro estructura moderada en bloques angulares medianos ligeramente adherente y ligeramente plástico, ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcareo pocos poros medianos y finos pocas raíces finas y medianas límite gradual y ondulado
3Bw2 47-65	7 5YR 5/4 7 5YR 4/6	Franco arenoso 50% cantos rodados <2cm estructura moderada en bloques angulares medianos, no adherente y no plástico, ligeramente firme en humedo ligeramente duro en seco	No calcareo pocos poros finos pocas raíces finas límite claro y ondulado
3Cu1 65-90	7 5YR 5/4 7 5YR 4/6	Franco arcillo arenoso 45% cantos rodados <2cm, estructura moderada en bloques angulares medianos, ligeramente adherente y ligeramente plástico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcáreo pocos poros finos pocas raíces finas límite gradual y ondulado
3Cu2 90-108	7 5YR 5/4 7 5YR 3/4	Pocos moteados finos franco arcillo arenoso 40% cantos rodados <2cm, estructura moderada en bloques subangulares gruesos ligeramente adherente y ligeramente plástico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcareo límite no determinado

<sup>1</sup> prof = profundidad [cm]

## **Morfología de los montículos**

La descripción morfológica del perfil AI, ubicado sobre un montículo en el abanico se presenta en el cuadro 7. El suelo presenta una secuencia de horizontes A, B y C y discontinuidades litológicas indicados por los prefijos en numerales arábigos.

El horizonte Ah llega hasta los 31 centímetros de profundidad. Tiene textura arcillosa y colores oscuros en seco (10YR 4/3 pardo oscuro a pardo) y húmedo (10YR 2/3 pardo muy oscuro) que satisfacen los requerimientos de un horizonte mólico. La estructura del sub-horizonte Ah1 es fuerte granular de tamaños medianos y del sub-horizonte Ah2 en bloques finos subangulares fuertes. El contenido de raíces es notable tanto de medianas como de muy finas. El horizonte cambico (2Bw1 y 3Bw1) tiene color rojizo (7.5 YR) y textura franco arcillo arenosa con estructura moderada en bloques angulares medianos. El horizonte 3Cul tiene estructura moderada en bloques angulares medianos.

## **Comparación morfológica entre los perfiles AM y AI**

La secuencia de horizontes genéticos de ambos perfiles son análogas. En el caso del perfil AI el horizonte Ah es sucedido por un horizonte transicional AB y luego por el horizonte cambico Bw. El perfil AM el horizonte Ah es directamente sucedido por el horizonte cambico Bw.

En el perfil AM el montículo está conformado por los horizontes Ah1 y Ah2 con un espesor de 12 centímetros y estructura granular. En contraste, el horizonte Ah1 del perfil AI tiene estructura laminar y apenas 3 centímetros de espesor y el horizonte Ah2 estructura fuerte en bloques subangulares finos y medianos con una profundidad que comprende de 3 a 16 centímetros. En cuanto a la consistencia, el horizonte Ah2 del espacio interarbusivo (perfil AI) es muy firme en húmedo y extremadamente firme en seco. Su homólogo, Ah2 del montículo, es firme en húmedo y duro en seco. El horizonte Ah2 del perfil AI contiene pocas raíces finas y pocas raíces gruesas en tanto que el mismo horizonte del perfil AM contiene muchas raíces finas medianas comunes. La porosidad es diferente en uno y otro horizonte demostrando que el horizonte Ah1 del perfil AI presenta poros medianos comunes y muchos finos. A su vez el horizonte correspondiente al perfil AM presenta poros gruesos comunes medianos y muchos poros finos.

Los horizontes situados por debajo del horizonte Bw presentan textura que varía de franco a franco arcillo arenosa. La estructura de estos horizontes está conformada por bloques angulares medianos o gruesos y por lo general de consistencia ligeramente firme en húmedo y dura en seco. Se encuentra la presencia de cantos rodados y pocas raíces.

**Cuadro 7 Descripción del perfil del pedon AM en el monticulo, suelos del abanico**

Horizonte prof <sup>1</sup> (cm)	Color	Textura, estructura, consistencia	Características especiales
Ah1 0 2	10YR 4/3 10YR 3/4	Arcilloso estructura fuerte mediana granular, ligeramente adherente y ligeramente plástico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcareo poros gruesos comunes y muchos poros finos y medianos muchas raíces finas y muy finas limite claro y ondulado
Ah2 2 12	10YR 5/3 10YR 2/2	Arcilloso estructura fuerte en bloques finos angulares adherente y plastico firme en humedo muy duro en seco	No calcareo poros gruesos comunes y muchos poros finos y medianos muchas raíces muy finas y comunes raíces medianas limite claro y ondulado
Ah3 12 31	10YR 5 5/3 10YR 2 5/2	Arcilloso estructura fuerte en bloques angulares medianos muy adherente y muy plástico muy firme en humedo muy duro en seco	No calcareo pocos poros medianos y finos pocas raíces medianas y finas limite claro y ondulado
2Bw1 31 50	7 5YR 5/4 7 5YR 3/4	Franco arcillo arenoso 5% cantos rodados estructura moderada en bloques angulares medianos adherente y plástico ligeramente firme en humedo, ligeramente duro en seco	No calcareo poros gruesos y medianos comunes poros finos muchos raíces gruesas y medianas comunes raíces finas muchas limite claro y ondulado
3Bw1 50 71	7 5YR 5/4 7 5YR 3 5/4	Franco 20% cantos rodados <1cm estructura moderada en bloques angulares medianos ligeramente adherente y ligeramente plastico ligeramente firme en humedo duro en seco	No calcareo pocos poros finos pocas raíces finas limite claro y ondulado
3Cu1 71 100	7 5YR 5/4 2 5YR 3 5/4	Pocos moteados finos franco arcillo arenoso 50% cantos rodados <3cm estructura moderada en bloques angulares medianos adherente y plastico firme en humedo duro en seco	No calcáreo pocos poros medianos pocas raíces medianas

<sup>1</sup> prof = profundidad [cm]

## **Nitrogeno**

En el perfil AM (monticulo) existe un 0.50% de nitrogeno mientras que en el horizonte homologo del perfil AI (espacio interarbustivo) contiene 0.22%. En el horizonte Ah2 del espacio interarbustivo existe un 0.13% de nitrogeno en tanto que en el horizonte Ah2 del monticulo hay 0.54%. Por ultimo el horizonte transicional 2ABh1 presenta en espacio interarbustivo un 0.08% de nitrogeno y en el horizonte 2Ah3 del monticulo 0.09% (figura 8a)

## **Fosforo**

Los dos suelos presentan valores elevados y semejantes de fosforo (P) en la superficie (figura 8b). Sin embargo, el contenido de este nutriente exhibe una disminucion abrupta en el suelo del espacio interarbustivo entre el horizonte Ah1 (29.15 ppm) y el horizonte Ah2 (11.06 ppm) pero se mantiene elevado (>30 ppm) en el monticulo hasta la base del horizonte Ah2 (31.78 ppm). A partir de los horizontes 2ABh1 (AI) y Ah3 (AM) el contenido de P en los dos suelos es semejante.

## **Materia orgánica**

La figura 8c muestra que el contenido de materia organica en los horizontes superiores del suelo en el monticulo es superior al contenido de este componente en los horizontes superiores del suelo en los espacios interarbustivos. Por ejemplo, el horizonte Ah2 del suelo en el monticulo contiene 7.5% de materia organica y su contraparte del espacio interarbustivo apenas 1.1%. Estas diferencias disminuyen con la profundidad y toman valores practicamente iguales a partir de los 25 cm.

## **Carbonatos**

Este componente disminuye con la profundidad en los dos perfiles, llegando a 1.1% en el horizonte Bw2 del perfil AI volviendo a elevarse en los horizontes inferiores (figura 8d). El bajo contenido de carbonatos en los horizontes intermedios 3Bw1 y 3Bw2 en el perfil AI y 2Bw1 y 3Bw2 en el perfil AM retratan un periodo de estabilidad durante el cual los carbonatos fueron removidos de esta porcion del suelo mediante lixiviacion.

## **Capacidad de intercambio catiónico**

No existe una diferencia marcada en cuanto a la capacidad de intercambio cationico (CIC) entre los dos perfiles (figura 8e). En los dos casos la CIC disminuye con la profundidad, hasta los 65 cm. El incremento abrupto en el horizonte 3Cu2 del perfil AI es curioso y puede reflejar errores ocurridos durante el analisis.

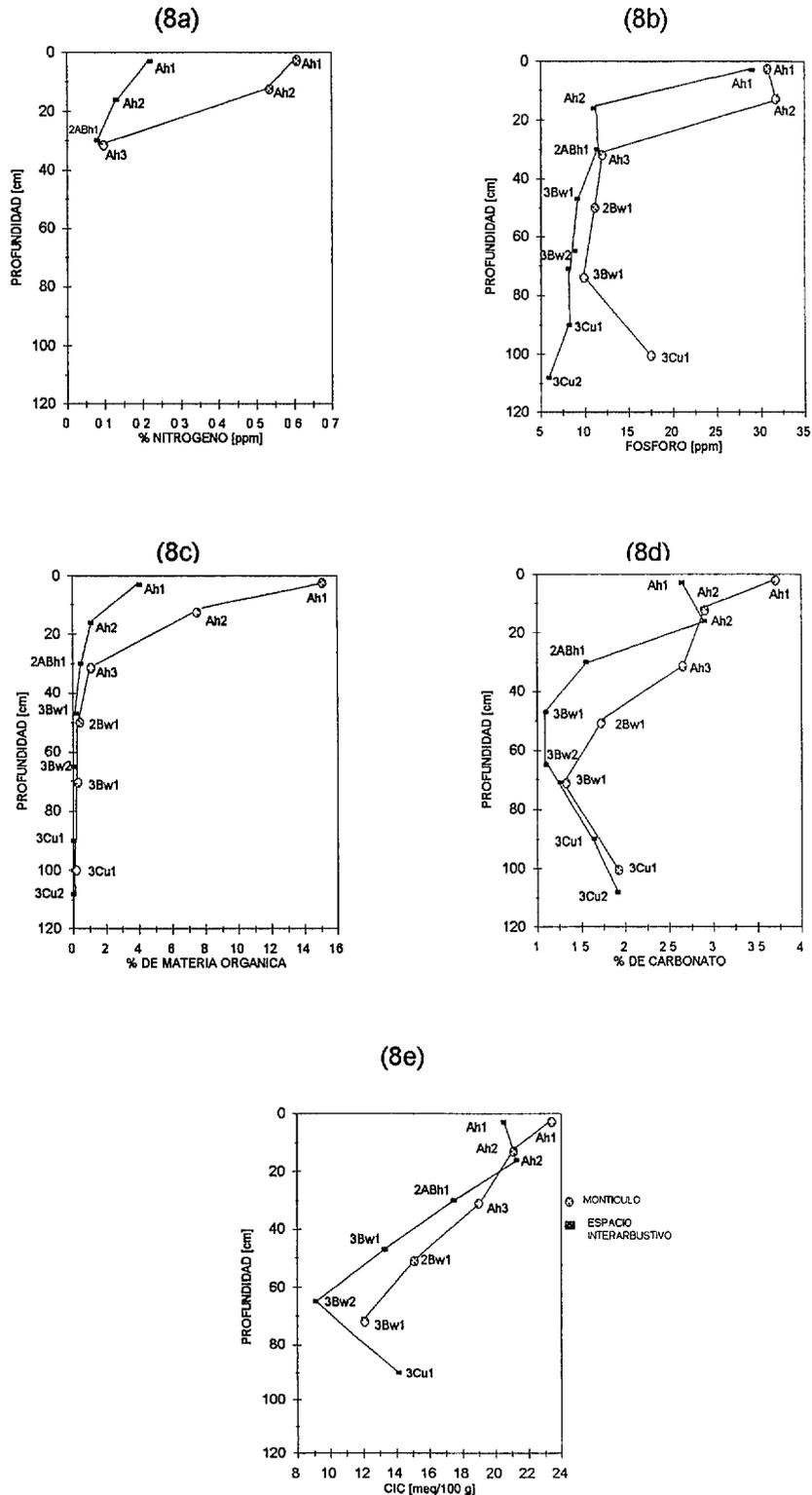


Figura 8 Contenido de nitrógeno (8a), fósforo (8b), materia orgánica (8c), carbonatos (8d) y capacidad de intercambio catiónico (8e) por horizontes de los montículos y espacios interarbustivos del sitio de muestreo en el abanico

## Granulometria

En los dos perfiles el contenido de arcilla atinge los valores mas elevados en los horizontes Ah (cuadro 8) En el perfil AI, el contenido de arcilla atinge 60% en el horizonte Ah2 El contenido de arena aumenta con la profundidad, mostrando valores mas elevados (79%) en el horizonte 3Bw2 del perfil AI Estas tendencias indican que la Iluviacion de arcilla es estos suelos ha sido minima

**Cuadro 8      Contenido de arena, limo y arcilla por horizontes en los espacios interarbustivos y monticulos en los suelos ubicados en el abanico<sup>1</sup>**

ESPACIO INTERARBUSTIVO					MONTICULO				
Horizonte	Arena	Arcilla	Limo	Textura <sup>2</sup>	Horizonte	Arena	Arcilla	Limo	Textura
[cm]	[%]				[cm]	[%]			
Ah1	22	57	21	Y	Ah1	32	43	25	Y
0-3	18	55	27	Y	0-2	31	44	25	Y
Ah2	21	60	19	Y	Ah2	26	51	23	Y
3-16	21	60	19	Y	2-12	22	52	26	Y
2ABh1	55	32	13	FAY	Ah3	40	46	14	Y
16-30	53	30	17	FAY	12-31	37	79	14	Y
3Bw1	67	24	9	FAY	2Bw1	56	33	11	FAY
30-47	71	20	9	FAY	31-50	57	32	11	FAY
3Bw2	79	18	3	FA	3Cu2	74	23	3	FAY
47-65	78	19	3	FA	50-71	71	23	6	FAY
3Cu1	73	23	4	FAY	3Cu1	60	25	15	FAY
65-90	71	27	2	FAY	71-100				
3Cu2	73	24	3	FAY					
90-108									

<sup>1</sup>Resultados de dos análisis consecutivos

<sup>2</sup>F=Franco, Y=Arcilla A=Arena, L=Limo

## Densidad aparente

El horizonte Ah2 de los monticulos presenta menor densidad aparente si se compara con el horizonte homologo de los espacios interarbustivos (cuadro 9) Esta diferencia se hace menor con la profundidad

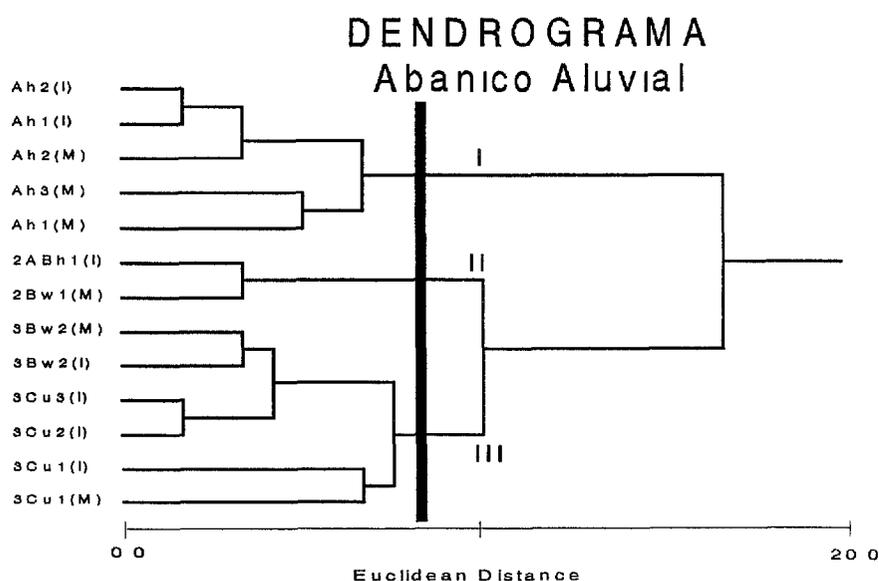
**Cuadro 9 Densidad aparente en el espacio interarbustivo y montículo en los suelos del abanico**

ESPACIO INTERARBUSTIVO		MONTICULO	
Horizonte	Da [g/cm <sup>3</sup> ]	Horizonte	Da [g/cm <sup>3</sup> ]
Ah2	1 22	Ah2	0 77
2ABh1	1 49	Ah3	1 31

**Discontinuidades litológicas**

Del dendrograma proveniente de los analisis de conglomerados para los horizontes de los suelos ubicados en el abanico se pueden identificar tres conglomerados de horizontes (figura 9) El conglomerado I esta conformado por los dos horizontes Ah de los dos perfiles, retratando de esta manera la homogeneidad del material parental desde la superficie hasta el horizonte 2 ABh1 del perfil AI y 2 Bw1 del perfil AM En el caso del perfil AI este estrato se extiende hasta los 16 cm En el caso del perfil AM se extiende hasta los 31 cm

El conglomerado II esta conformado por el horizonte cambico (2Bw1) del perfil AM y el horizonte 2ABh1 del perfil AI El conglomerado III se constituye por los horizonte inferiores a estos De tal forma, la primera discontinuidad litologica ocurre a los 31 cm en el caso de los monticulos y 16 cm en el caso de los espacios interarbustivos, la segunda a los 50 y 30 cm respectivamente



**Figura 9 Analisis de conglomerados segun horizontes como objetos y fracciones granulometricas como atributos para los suelos del abanico aluvial**

## Características hídricas

### Infiltración

Según las pruebas pareadas de "t de Student", durante el último intervalo de tiempo analizado (40-60 min) existe diferencia significativa entre la velocidad de infiltración en montículos y espacios interarbustivos ( $P < 0.10$ , cuadro 12). Durante los demás intervalos de tiempo analizados (0-5, 10-20 y 20-40 min) existe también una diferencia significativa ( $P < 0.05$ , cuadro 10) debido a que, principalmente, la variabilidad es menor durante las etapas de tiempo posteriores. Sin embargo, la mayor variabilidad de la velocidad de infiltración se puede apreciar dentro del grupo de los montículos.

Cuadro 10 Pruebas pareadas de Student "t" por una cola entre velocidades de infiltración de montículos y espacios interarbustivos en el área de estudio ubicada en los suelos en el abanico

Intervalo de tiempo [min]	n	IM [cm/h]	IP [cm/h]	t	tc(p<0.05)	tc(p<0.1)
0-5	4	187.5	26.4	2.44	2.35*	1.63*
5-10	4	162.2	11.4	3.48	2.35*	1.63*
10-20	4	96.9	16.2	2.89	2.35*	1.63*
20-40	4	98.5	15.0	2.49	2.35*	1.63*
46-60	4	68.2	15.8	2.08	2.35ns	1.63*

Las curvas de ajuste de la velocidad de infiltración de los pares aleatorios indican una diferencia entre espacios interarbustivos y montículos (figura 10). Generalmente, en los espacios interarbustivos la velocidad de infiltración es más constante que las velocidades de infiltración que ocurren en los montículos.

<sup>1</sup>IM = Velocidad de infiltración promedio en montículos. IP = Velocidad de infiltración promedio en espacios interarbustivos. \* = diferencia significativa. ns = no significativa. obs = número de observaciones. t = t calculado. tc(P<0.05) = t crítico para un nivel de significancia de 0.05. tc(P<0.1) = t crítico para un nivel de significancia de 0.10.

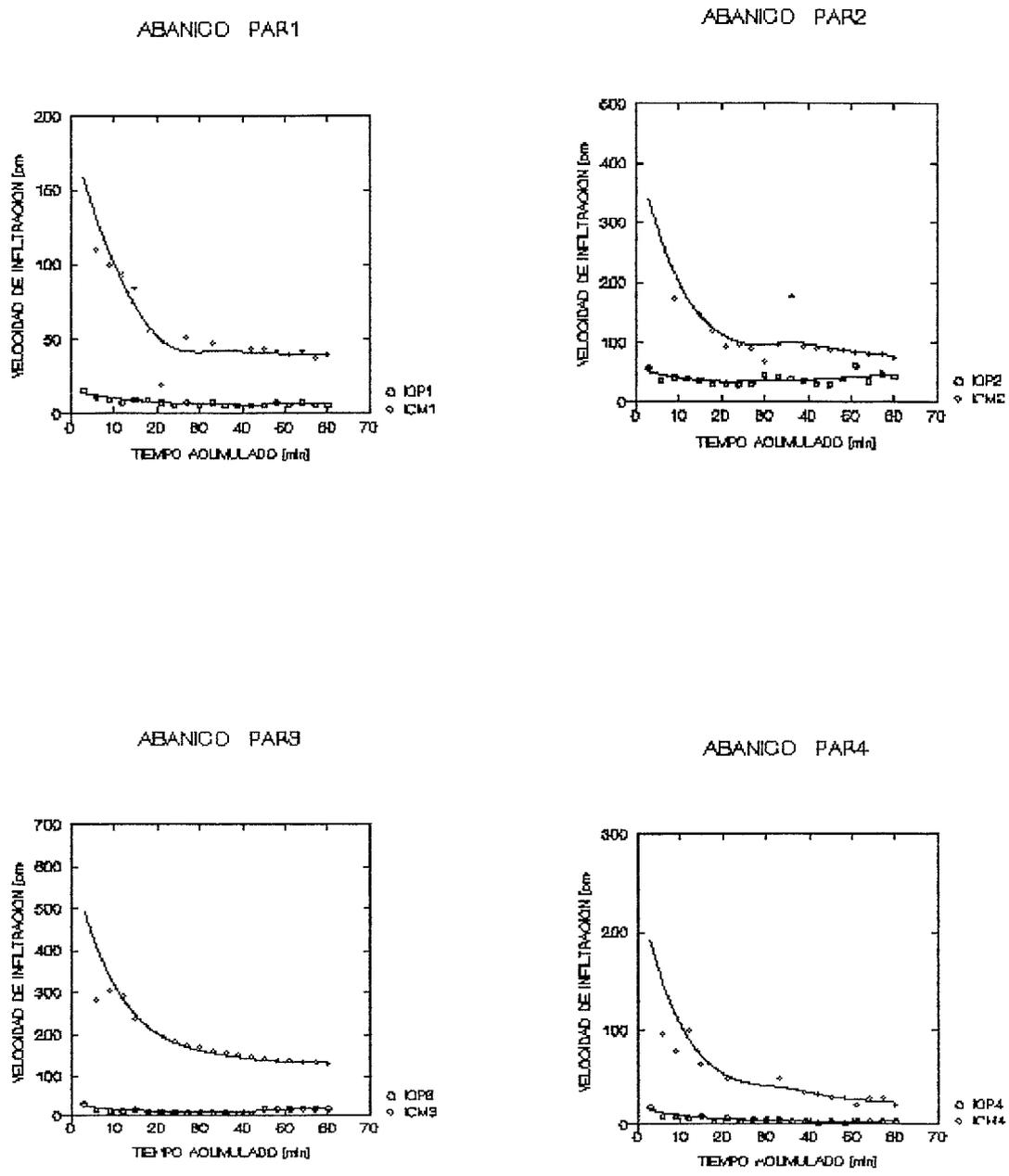


Figura 10 Curvas de ajuste de las velocidades de infiltración por pares aledaños infiltrados en montículos y espacios interarbustivos en el area de los suelos en abanico

## Retencion de humedad

Los resultados de las pruebas de retencion de humedad en los suelos del abanico son resumidos por las curvas de ajuste por minimos cuadrados ponderados (figura 11) Las características presentadas por los espacios interarbustivos y los monticulos en cuanto a la curva de retencion de la humedad son diferentes. En el espacio interarbustivo a un pF de 1.7 el porcentaje de humedad es menor (31%) que en el monticulo (40%). A medida que el pF sube la diferencia se hace menor hasta que el pF es igual a 4.5, donde existe similitud entre ambas curvas. De tal forma que la capacidad de retencion de agua disponible es mas elevada en los monticulos que en los espacios interarbustivos.

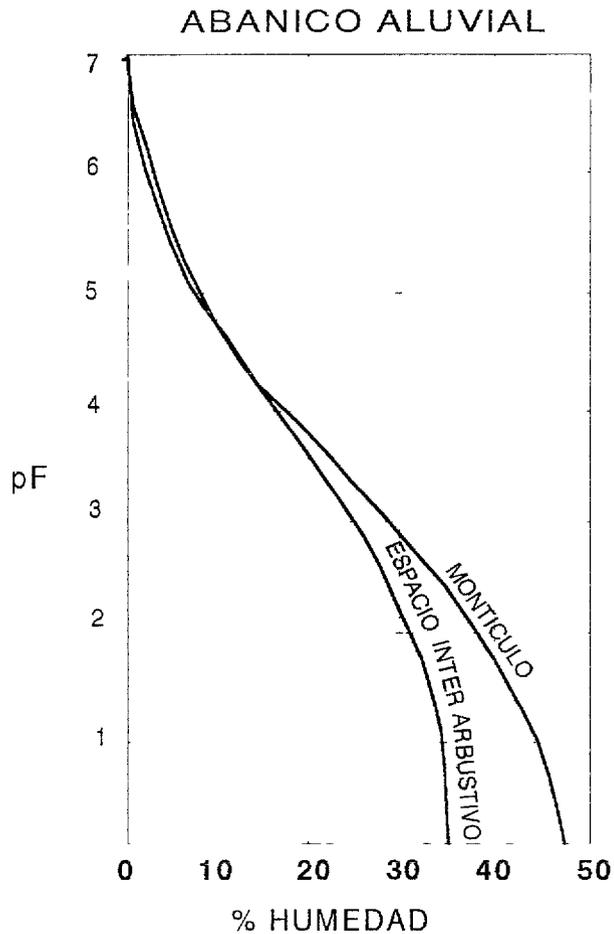


Figura 11 Curvas de ajuste de la retencion de la humedad en espacios interarbustivos y monticulos de los suelos del abanico

## **Clasificación de los suelos del abanico**

### **Espacios interarbustivos**

A pesar de sus colores molicos, los horizontes superiores del perfil AI ubicado en el espacio interarbustivo no satisfacen los requerimientos del horizonte "A" molico (FAO 1988) Esto debido al hecho de que el contenido de materia organica es inferior al 1% a partir de los 16 cm de profundidad. La estructura bien desarrollada, los colores rojizos del horizonte 3Bw1 y el bajo contenido de carbonatos indican la presencia de un horizonte "B" cambico.

Estas características de diagnostico ubican al perfil AI en el grupo de los Cambisoles de acuerdo al sistema de la FAO/UNESCO (FAO 1988). A nivel de unidad el suelo en los espacios interarbustivos es un Cambisol Eutrico, lo que indica buena fertilidad.

### **Monticulos**

El suelo asociado a los monticulos (perfil AM) tiene un horizonte "A" molico, sobrepuesto a un horizonte "B" cambico. Estas características ubican el perfil AM en el grupo de los Phaeozems del sistema FAO/UNESCO (FAO 1988). A nivel de unidad el suelo es un Phaeozem Haplico.

## Conclusiones y Recomendaciones

- 1 Los suelos del montículo y de los espacios interarbustivos tienen características distintas. Los montículos tienen concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo superiores a las encontradas en los espacios interarbustivos. Las diferencias en términos de morfología incluyen la estructura (granular en los montículos y laminar en los espacios interarbustivos), espesor mayor de los horizontes Ah, mayor cantidad de raíces y consistencia más blanda en los montículos.
- 2 Las diferencias morfológicas entre espacios interarbustivos y montículos tienen influencia sobre las propiedades hídricas de los suelos. Los montículos tienen tasas de infiltración y capacidad de retención de humedad más elevadas que los espacios interarbustivos.
- 3 Los montículos están genéticamente relacionados con los horizontes inferiores. Esto indica que su origen resulta de la erosión preferencial de material superficial edáfico de los espacios interarbustivos. También sugiere que en las dos unidades geomorfológicas estudiadas, abanico y terraza aluvial, los montículos representan manchas de un horizonte Ah que anteriormente cubría las dos superficies de manera uniforme y homogénea.
- 4 La erosión y degradación estructural del suelo en los espacios interarbustivos son responsables de la disminución de la tasa de infiltración en estas áreas. A nivel de unidad geomorfológica, la reducción de la tasa de infiltración en una proporción notable de las dos superficies estudiadas representa una aridización del clima edáfico. La disminución del agua disponible para la producción vegetal representa un cambio fundamental en la ecología de las superficies. Este cambio implica una reducción en la capacidad de producción primaria de las dos superficies. De esta manera, este estudio soporta la noción de que los **tholares de Santiago de Machaca representan un estado degradado del abanico y terraza aluvial**. Este hecho fue establecido mediante el estudio de diferencias edáficas que ocurren en pequeña escala, y soporta la utilidad de estos contrastes como indicadores de cambios ecológicos. Sin embargo, en el Altiplano existen varias categorías de montículos y los resultados de este estudio no pueden ser extrapolados sin discreción.
- 5 La estructura vertical de la población de thola en el abanico sugiere una tasa de repoblamiento de *Parastrephia lepidophylla* reducida. Este dato combinado con la alta densidad de arbustos adultos y la observación de que la población no sufre de mortalidad excesiva, indica que el abanico se encuentra en un estado ecológico degradado pero estable. En la ausencia de disturbios ecológicos tales como la ocurrencia de fuego o una sequía prolongada, el tholar de abanico no sufrirá cambios significativos.
- 6 En la terraza aluvial la densidad de *Parastrephia lepidophylla* es relativamente alta indicando un proceso activo de repoblamiento. Por otro lado, la tasa de extracción de

leña en esta unidad geomorfológica es elevada debido a su proximidad al pueblo de Santiago de Machaca. Estos hechos indican que el tholar de la terraza aluvial se encuentra degradado y en transición. Este estudio no puede afirmar con seguridad si la tendencia es hacia un tholar más denso o una superficie dominada por especies anuales. Para hacer esta determinación es necesario comparar la tasa de extracción (mortalidad) y repoblamiento. Sin embargo, la alta tasa de extracción de plantas adultas favorece la expansión de la superficie ocupada por espacios interarbustivos en detrimento de los montículos.

Este estudio ha demostrado que las praderas compuestas por *Paratrephia lepidophylla* (tipo tholar) en la zona de Santiago de Machaca se encuentran en un estado degradado. Esto tiene un efecto negativo en el clima edáfico y sobre la producción ganadera local. El hecho de que las praderas se encuentran degradadas y no reflejan el potencial ecológico del área justifica la intervención del hombre para su recuperación.

El Altiplano es una región que ha sido intensamente utilizada por siglos. Por esta razón la ocurrencia de áreas en buena condición ecológica que puedan servir como puntos de referencia para la determinación de estatus ecológico de las praderas de la región es un hecho poco probable. Este estudio ha demostrado que las diferencias edáficas en pequeña escala pueden servir como indicadores de degradación de praderas. En el Altiplano este fenómeno es común y muy variable. De esta forma, se recomienda que estudios complementarios sean conducidos para investigar el valor de otras categorías de diferencias edáficas y fitológicas como indicadores de degradación de praderas.

A pesar del sentimiento generalizado de que las praderas Altiplanicas se encuentran en un estado de degradación, no se ha conducido ninguna evaluación de la condición ecológica de la región. Uno de los factores limitantes es la falta de una metodología adecuada. Intervenciones dirigidas a recuperar praderas son costosas y justificadas solo después de verificar que las praderas están realmente degradadas y que sus condiciones no son una manifestación natural del clima y suelo. Por esta razón se hace necesario seguir el desarrollo de una metodología para evaluar degradación con un inventario de la condición ecológica de las praderas altiplanicas.

La noción de que las praderas altiplanicas se encuentran degradadas es generalizada. Sin embargo, no existe una metodología objetiva y práctica que permita la evaluación del estatus ecológico de las praderas del Altiplano. Métodos utilizados en otros países no tienen aplicabilidad en Bolivia. Por esta razón se hace necesario un programa con el objetivo de desarrollar una metodología para la evaluación de la condición ecológica de las praderas Altiplanicas.

En uno de los suelos estudiados (abanico) la situación es aparentemente estable. Esto significa que la mejora de la condición de estas praderas involucrará la manipulación de la vegetación. Por esta razón se deben implementar experimentos diseñados a investigar maneras de elevar la condición ecológica de este tipo de tholar. Estos experimentos deben ser compatibles con la realidad socio-económica de la región.

Este estudio ha demostrado que los montículos contienen niveles más elevados de materia orgánica que los espacios interarbustivos. Esto indica que la expansión del área ocupada por suelos similares a los de los montículos incrementará la cantidad de carbono orgánico inmovilizado y contribuirá significativamente en la lucha contra el efecto invernadero.

## Bibliografía

- ABEL, N y P BLAIKIE 1989 Land degradation, stocking rates and conservation policies for the communal rangelands of Botswana and Zimbabwe Land degradation and rehabilitation, 1 101-123
- ALLISON, L E 1974 Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America (USDA), Ed Limusa pp 1-33
- ALZERRECA, H 1986 Campos nativos de pastoreo en la Zona Altiplanica y Altoandina de Bolivia En Primera Convencion Nacional de Camelidos Sudamericanos 2-4 de Julio de 1986, Oruro, Bolivia pp 167-168
- ALZERRECA, H y B JEREZ 1989 Analisis y propuestas para el manejo de praderas nativas, pasturas y ganaderia en la comunidad de Japo Agroecologia Universidad de Cochabamba (AGRUCO), Cochabamba, Bolivia pp 8-9
- ALZERRECA, H 1992 Produccion y utilizacion de los pastizales de la Zona Andina de Bolivia Instituto Boliviano de Tecnologia Agropecuaria (IBTA) y Red de Pastizales Andinos (REEPAN), La Paz, Bolivia pp 27-34
- AUGTSBURGER, F 1990 La Ganaderia y los Equilibrios Ecologicos En Desarrollo y Medio Ambiente Cooperacion Tecnica Suiza (COTESU), Bolivia, 1990 pp 25-27
- BARRERA, C 1994 Uso de la tierra y características de poblaciones de thola *Parastrephia lepidophylla* (Wedd, C) en el Canton San Jose Llanga Tesis para obtener el titulo de Ingeniero Agronomo, Facultad de Agronomia, Universidad Mayor y Pontificia de San Francisco Xavier, Sucre, Bolivia, 83 p
- BEHNKE R, y I SCOONES 1993 Rethinking range ecology Implications for rangeland management in Africa En Range Ecology at disequilibrium R Behnke, I Scoones y N Kerven, ed pp 1-31
- BIOT, Y 1993 How long high stocking densities can be sustained Paper presented at the technical meeting on Savanna Development and Pasture Production Woburn, UK, 19-21 November 1990
- BLANCO C 1971 Nuevas orientaciones para el mejoramiento forrajero del Altiplano In Proyecto de Pasturas de los Andes Altos La Paz Bolivia
- BROWMAN, D 1984 Pastoralism in Highland Peru and Bolivia NSF grant BNS 74-01258 and University Washington of Faculty grant support University of Washington, Seattle pp 121-143

- DYKSTERHUIS, E J 1949 Condition and management of rangeland based on quantitative ecology *Journal of Range Management* 2 104-115
- ELLIS J E y D M SWIFT 1988 Stability of African pastoral ecosystems alternate paradigms and implications for development *Journal of Range Management* 41 450-459
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) 1977 Guidelines for soil profile description (Second edition) FAO, Rome, Italy 67 p
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) 1986 Guia de fertilizantes y nutricion vegetal Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Servicio de fertilizantes y nutricion de plantas, Direcccion de Fomento de Tierras y Aguas, Roma, Italia pp 5-7
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) 1988 Soil map of the world Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy 142 p
- FRIEDEL, M H 1991 Range condition assessment and the concept of thresholds A viewpoint *Journal of Range Management* 44 422-426
- GASTO J, F COSIO y D PANARIO 1992 Sistema de clasificacion de ecoregiones y determinacion de sitio y condicion Manual de Aplicacion a Municipios y Predios Rurales Centro Internacional de Investigacion Internacional para el Desarrolla (CIID)-Canada, Santiago, Chile pp 40-75
- GILLES, J L y K JAMTGAARD 1981 Overgrazing in pastoral areas Department of Rural Sociology, University of Missouri-Columbia, pp 129-141
- HARDIN, G 1968 The tragedy of the commons *Science* 162 1243-1248
- LARA, R y H ALZERRECA 1982 Evaluacion de praderas nativas en el Altiplano central y oeste del Departamento de Oruro En Memorias de la Primera Reunion Nacional de Praderas Nativas de Bolivia Oruro, Agosto 26-29 de 1987 Proyecto de Autodesarrollo Campesino (PAC) - Corporacion de Desarrollo de Oruro (CORDEOR) y Comunidad Economica Europea (CEE) Oruro, Bolivia 120 p
- LAYCOCK W A 1991 Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands A view point *Journal of Range Management* 44 427-433
- LE BARON A L BOND P AITKEN y L MICHAELSEN 1979 Una explicacion sobre el sindrome del pastoreo-erosion en las tierras altas de Bolivia Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA) y el Instituto Nacional de Fomento Lanero (INFOL), La Paz, Bolivia pp 4-5

- LIBERMAN, M y U FISEL, 1983 Uso de la tierra en la region de Huaraco Antipampa y Pujravi del Altiplano Central de Bolivia En *Ecologia en Bolivia*, N° 4, La Paz, Bolivia pp 31-32
- MONTECINOS, J C 1995 Factores edaficos como indicadores de degradacion de una pradera nativa tipo tholar del Altiplano semiarido
- MUELLER-DOMBOIS, D y H ELLENBERG, 1974 *Aims and Methods of Vegetation Ecology* John Wiley and Sons, United States of America pp 31-33
- ORZAG, V 1992 Degradacion de los suelos En *Memorias del Ciclo de Conferencias sobre Ecologia y Agricultura Servicios Multiples de Tecnologias Aplicadas (SEMTA)-Universidad Mayor de San Andres (UMSA)* La Paz, Bolivia pp 71-85
- PARKER, K 1975 A position statement on watershed management, USU Series 31/75 Utah State University, USAID/Bolivia Contract AID 511-56T La Paz, 5 p
- POSNANSKY, M 1982 Ecologia y recursos naturales en Bolivia Trabajo presentado en el Simposio de Ecologia, 3-8 de mayo de 1982, Centro Portales, Cochabamba, Bolivia pp 13-14
- QUEIROZ, J 1993 Land degradation in Botswana Myth or reality? Pastoral Development Network Paper 35B, Overseas Development Institute (ODI), London 20 p
- QUEIROZ, J 1994 Range degradation in Botswana the beat goes on Pastoral Development Network Newsletter, Overseas Development Institute (ODI), September 36, July 1994 40 p
- ROMESBURG, H C 1984 Cluster Analysis for Researchers Lifetime Learning Publications, Belmont California USA pp 96
- SALM, H 1983 Estudio Preliminar de Suelos del Altiplano Central de Bolivia En *Ecologia en Bolivia*, N° 10, La Paz, Bolivia pp 43-57
- SEIBER, P 1982 Investigacion de ecosistemas en la zona Callawayaya (Andes bolivianos) Serie Revista de Ecologia, N° 2 La Paz Bolivia
- SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT (SRM) 1991 SRM Recommends new range terminology Trailboss News September Society of Range Management Denver
- SMITH E L 1988 *Successional concepts in relation to range condition assessment* En P T Tueller (ed) *Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management* Kluwer Academic Publ, Boston

- STEVENS, J 1975 End-of-tour-report USU Series 43/75 Utah State University  
USAID/Bolivia Contract AID 511-56T La Paz 10 p
- STOLT, M H, J C BAKER y T W SIMPSON 1993 Division S-5-Soil Genesis,  
Morfology & Classification Soil Science Journal 57(2) 414-421
- WESTOBY, M, WALKER, B y I NOY-MEIR 1989 Opportunistic management for  
rangelands not at equilibrium En Journal of Range Management 42(4) 266-274
- WILSON, A D 1989 The development of systems of assessing the condition of rangeland  
in Australia En Launroth, W,K y W A Laycock eds *Secondary Succesion and the  
Evaluation of Rangeland Condition* Westview Press 161p